

Qubik, Parzelle 2221 Ostermundigen

NIS Belastung Parzelle 2221 Ostermundigen verursacht durch Übertragungsleitung und Bahn

ECH-520.01-004 / Version 1.0

Auftraggeber:

Qubik AG
Bernstrasse 176
3052 Zollikofen

Herausgeber:

Enotrac AG
Seefeldstrasse 8
CH-3600 Thun
Tel. +41 33 346 66 11
Fax +41 33 346 66 12
info@enotrac.com
www.enotrac.com

Freigegeben

27.02.2023

© Enotrac AG

Aktuelle Version

Version	Datum	Status	Erstellt	Geprüft	Freigegeben
1.0	27.02.2023	Freigegeben	J. Tschumi	K. Gafner	K. Gafner

Vorherige Version

Version	Datum	Status	Erstellt	Geprüft	Freigegeben

Änderungen seit der vorherigen Version

Urheberrecht

Dieses Dokument wurde durch Enotrac AG im Auftrag des Kunden erarbeitet. Für das Dokument und den darin dargestellten Gegenstand erhält der Kunde das Nutzungsrecht. Die Urheberrechte liegen bei Enotrac AG. Vervielfältigung, Bekanntgabe an Dritte oder Verwertung seines Inhalts über die vorgesehene Nutzung hinaus sind ohne schriftliche Zustimmung verboten.
© Enotrac AG

Inhalt:

1	Einleitung	4
1.1	Ausgangslage	4
1.1.1	Grenzwerte	5
1.1.2	Planungen der SBB	5
1.1.3	Anmerkungen zur NISV	6
1.1.4	Anmerkung zur Modellierung/Berechnung	7
1.2	Aufgabenstellung	7
2	Zusammenfassung	8
3	Simulationsrechnung	9
3.1	Beschreibung des Simulationsmodells für die Übertragungsleitung	9
3.1.1	Allgemeines	9
3.1.2	Koordinatensystem	9
3.1.3	Modell der Übertragungsleitung	9
3.2	Beschreibung des Simulationsmodells für die Eisenbahnanlage	13
3.2.1	Allgemeines	13
3.2.2	Koordinatensystem	14
3.2.3	Modellbereich	14
3.2.4	Modell der Eisenbahnanlage	14
3.3	Verwendete Tools	21
3.3.1	Modul SIMNET aus FABEL	21
3.3.2	EMFCALC	22
3.3.3	EMFCALC3D	22
4	Ergebnisse	23
4.1	Feld der Übertragungsleitung	23
4.1.1	Heutige Lage der Übertragungsleitung	24
4.1.2	Lage der Übertragungsleitung mit «AS25»	30
4.1.3	Zusammenfassung Ergebnisse Übertragungsleitung	35
4.2	Feld der Eisenbahnanlage	36
4.2.1	Ausbaustufe Vorbereitung AS25	37
4.2.2	Ausbaustufe AS25	40
4.2.3	Zeithorizont 2050	43
4.2.4	Zusammenfassung Ergebnisse Eisenbahn	45
5	Referenzen	46
6	Anhang	47
6.1	Verwendete Abkürzungen und Begriffe	47

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage

Die Qubik AG erarbeitet zusammen mit weiteren Partnern einen Sondernutzungsplan für das Areal der Parzelle 2221 in Ostermundigen (siehe Abbildung 1-1). Dieses Areal grenzt unmittelbar an die Fahrleitungsanlage der SBB des Bahnhofs Ostermundigen (15 kV) und liegt nahe an der Übertragungsleitung Nr. 180 Bern - Thun der SBB (mit Leitungssträngen UW Bern Wankdorf – UW Thun und UW Bern Wankdorf - Wimmis; 2 Leitungsstränge 132 kV). Diese Anlagen führen Wechselstrom mit einer Frequenz von 16.7 Hz und emittieren daher magnetische Wechselfelder. Die Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) [1] regelt die zulässigen Belastungen durch solche Wechselfelder.

Es soll deshalb die von der Bahn, resp. der Übertragungsleitung verursachte Belastung mit nichtionisierender Strahlung auf dem Areal gemäss den Anforderungen der NISV abgeklärt werden.

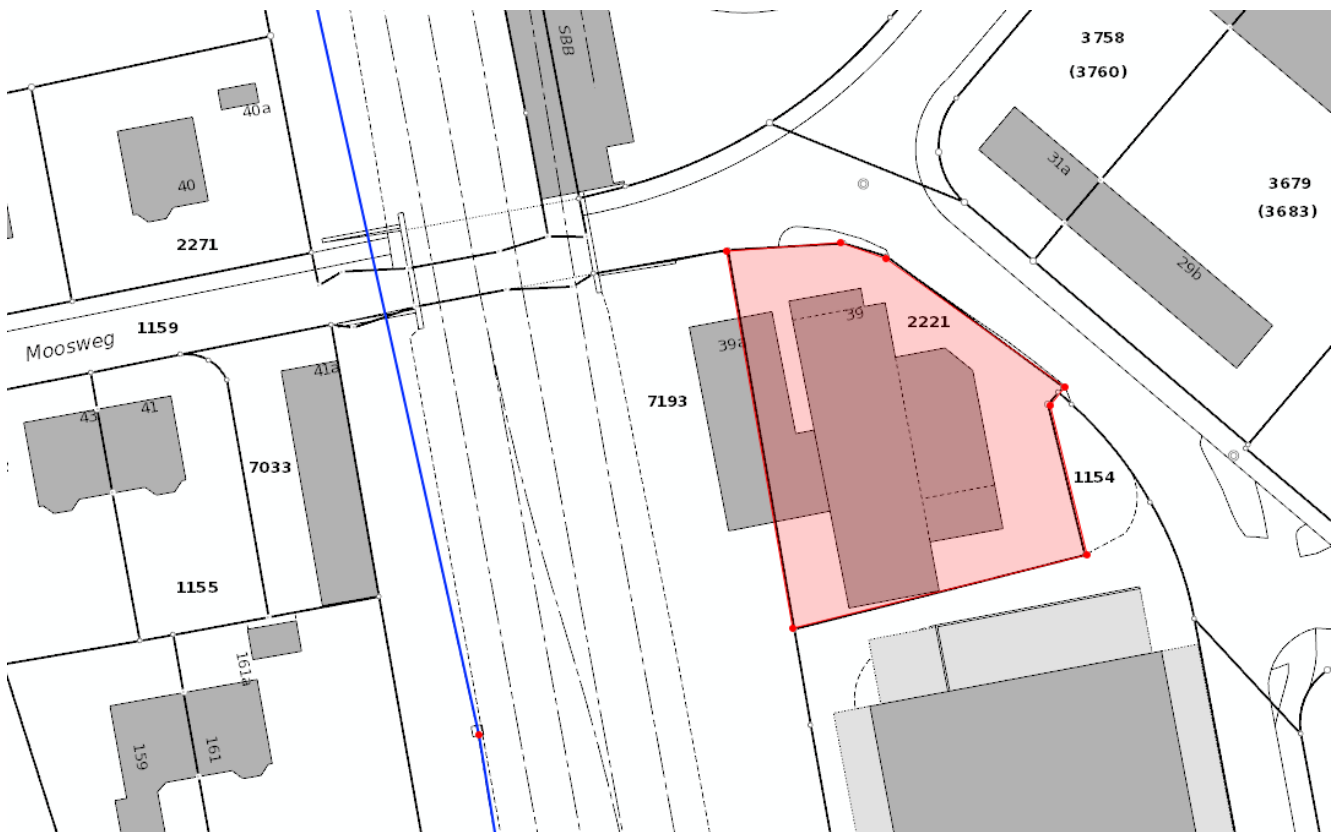


Abbildung 1-1: Situation Untersuchungsbereich: Die rote Fläche zeigt die Parzelle 2221 in Ostermundigen und die blaue Linie die Achse der Übertragungsleitung 180. Die heutigen Gleise sind strichpunktiert dargestellt. Quelle: [7], ergänzt.

1.1.1 Grenzwerte

Die NISV basiert auf dem Verursacherprinzip und stellt nur Anforderungen an den Betreiber von elektrischen Anlagen und an die Gemeinden beim Einzonen von Bauland. Dabei ist bezüglich Anforderungen an den Betreiber zu unterscheiden, ob es sich um «alte Anlagen» im Sinne der NISV (Art. 3, Abs. 1 NISV; Inbetriebnahme vor dem Inkrafttreten der NISV am 1. Februar 2000) oder um «neue Anlagen» (Art. 3, Abs. 2 NISV) handelt.

Für «neue Anlagen» und beim Einzonen von Bauland gilt gemäss NISV für die Emissionen ein Anlagegrenzwert (AGW) von 1 μ T bei allen Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN; z.B. gelten Arbeitsplätze und Wohnräume als OMEN; generell „Räume in Gebäuden, wo sich Personen regelmässig während längerer Zeit aufhalten“¹) für den über 24 Stunden gemittelten Effektivwert der magnetischen Flussdichte (Eisenbahnen) resp. bei einem Stromfluss entsprechend dem thermischen Grenzstrom (Übertragungsleitungen). Der AGW wird auch „vorsorglicher Emissionsgrenzwert“ genannt und steht für die niederschwellige lange andauernde Belastung mit NIS. Die beiden Anlagentypen Eisenbahn und Übertragungsleitung sind getrennt zu beurteilen (Art. 3, Abs. 6 NISV).

Für «alte Anlagen» gelten die nachfolgenden Anforderungen für Emissionen: Überschreitet die von einer Eisenbahnanlage erzeugte magnetische Flussdichte den AGW bei einem OMEN, so muss die Eisenbahn mit einem Rückleiter ausgerüstet werden (Ziff. 56, Anh. 1 NISV; mit «Rückleiter» ist ein zusätzliches Rückleiterseil entlang der Anlage gemeint). Überschreitet die von einer Übertragungsleitung verursachte magnetische Flussdichte den AGW bei einem OMEN, so ist die Phasenbelegung, soweit technisch und betrieblich möglich, so zu optimieren, dass das Ausmass der Überschreitung minimiert wird (Ziff. 16, Anh. 1 NISV).

Nach NISV (und unabhängig vom Status «alt» resp. «neu») müssen zudem die Immissionsgrenzwerte für die magnetische Flussdichte (300 μ T) und das elektrische Feld (10 kV/m) überall und jederzeit eingehalten werden, wo sich Menschen aufhalten können (NISV Art. 13; Grenzwerte gemäss NISV Anhang 2, Ziff. 11 für 16.7 Hz). Für Freileiter von Übertragungsleitungen und Fahrleitungsanlagen wird dieser Immissionsgrenzwert erfahrungsgemäss an allen zugänglichen Orten eingehalten, weil die Sicherheitsabstände gegen elektrischen Schlag bei 132 kV / 15 kV grösser sind als die Bereiche, in welchen die Immissionsgrenzwerte überschritten werden. Kabel – aufgrund der Isolation ist eine unmittelbare Annäherung möglich – werden in den SBB Anlagen entlang dem Untersuchungsbereich nicht eingesetzt. Die Immissionsgrenzwerte werden somit problemlos eingehalten und stehen hier nicht weiter zur Diskussion.

1.1.2 Planungen der SBB

Nebst den Planungen auf dem Areal der Parzelle 2221 existieren auch Ausbaupläne der SBB für die Eisenbahnlinie Wankdorf - Ostermundigen Richtung Aaretal:

- Unter dem Titel «AS25» soll zwischen Wankdorf und Ostermundigen ein zusätzliches Gleis gebaut werden (4 statt heute 3 Durchfahrtsgleise entlang der Parzelle 2221). Mit «AS25» wird die Speisung der Eisenbahn vom Konzept mit Umgehungsleitungen auf das Linienkonzept² umgestellt. Damit «AS25» realisiert werden kann, braucht es vorab zwei Vorbereitungsschritte:
 1. Anpassung der heutigen Gleislage an die künftigen Anforderungen und um Platz zu schaffen für die neuen Masten der Übertragungsleitung Nr. 180. Entlang der Parzelle 2221 gibt es weiterhin 3 Durchfahrtsgleise.

¹ Raumplanungsrechtlich festgelegte Kinderspielplätze gelten auch als OMEN, dürften auf der Parzelle jedoch nicht relevant sein.

² Siehe Beschreibung in Kapitel 3.2

2. Verlegung der Übertragungsleitung Nr. 180, um den für das zusätzliche Gleis notwendigen Platz zu schaffen.
- Längerfristig (Zeithorizont 2050) ist ab Ostermundigen Richtung Gümligen der Ausbau auf vier Gleise vorgesehen. Ein konkreter Zeitplan besteht noch nicht. Dies wird entlang der Parzelle 2221 zu einer Zunahme des massgebenden Stroms führen.

1.1.3 Anmerkungen zur NISV

- Die NISV regelt Bauvorschriften der Gemeinden im Prinzip nur beim Einzonen von Parzellen in Bauzonen. Beim Einzonen müssen die Bauvorschriften so festgelegt werden, dass keine Orte mit empfindlicher Nutzung (OMEN) in den Bereichen, wo bestehende elektrische Anlagen den Anlagegrenzwert (AGW; auch vorsorglicher Emissionsgrenzwert genannt) überschreiten, errichtet werden dürfen.
- Grundsätzlich darf im Rahmen der geltenden Bauvorschriften gebaut werden, auch wenn dadurch OMEN in Bereichen über dem vorsorglichen Emissionsgrenzwert zu liegen kommen. Das entsprechende Risiko verbleibt jedoch bei der Bauherrschaft.
- Die NISV macht keine expliziten Vorgaben zum Ändern von Bauvorschriften für bestehende Bauzonen. Es erscheint jedoch insbesondere unter dem allgemeinen Schutzziel des übergeordneten Umweltschutzgesetzes wenig logisch, wenn mit der Änderung von Bauvorschriften (konkret Verringerung der Grenzabstände zu Nachbarparzellen, höhere zulässige Bauten) die Vorgaben, die beim Einzonen gelten, ausgehebelt werden.
- Abschirmmöglichkeiten zur Reduktion der Magnetfelder sind sehr teuer und schränken die Gestaltung der Bauten (z.B. sind Fenster kaum möglich und die Abschirmung muss auf der Seite der Quellen grossflächig erfolgen) stark ein.
- Die Eisenbahnlinie und die Übertragungsleitung entlang der Parzelle 2221 gelten aktuell als «Alte Anlagen» im Sinne der NISV, da sie vor Inkrafttreten der NISV am 1. Februar 2000 bereits rechtskräftig in Betrieb waren. Mit dem bereits vorhandenen Rückleiterseil bei der Eisenbahn sind die Maximalforderungen an die aktuelle Anlage bereits erfüllt. Und bei der Übertragungsleitung muss maximal eine Anpassung der Phasenbelegung gemacht werden.
- Die im ersten Vorbereitungsschritt für den «AS25» vorgesehenen Anpassungen an der Eisenbahn sind nach aktueller NISV und gängiger Praxis kein Grund, dass die Eisenbahn entlang der Parzelle 2221 zu einer «neuen Anlage» wird und der AGW eingehalten werden muss.
- Die UL 180 wird im zweiten Vorbereitungsschritt für den «AS25» verlegt. Die UL 180 erhält dadurch im Projektbereich den Status einer «neuen Anlage» und muss den AGW bei allen dazumal existierenden OMEN einhalten.
- Mit dem Bau des zusätzlichen Gleises zum Abschluss des «AS25» wird auch die Eisenbahnanlage gemäss der aktuellen NISV zu einer «neuen Anlage». Es ist gängige Praxis, dass beim Ausbau auf mehr Streckengleise die Anlage als neue Anlage gilt (Bundesgerichtsurteil 1C_315/2017). Die Eisenbahnanlage muss dann den AGW bei allen zum Zeitpunkt des Vierspurausbaus existierenden OMEN einhalten.
- Die NISV sieht jedoch unter bestimmten Auflagen auch vor, dass der AGW überschritten werden darf und der Betreiber der Anlage eine Ausnahmegewilligung erhält. Für Übertragungsleitungen, die mit 16.7 Hz betrieben werden, sind die Auflagen für den Erhalt einer Ausnahmegewilligung zudem geringer als für Übertragungsleitungen anderer Frequenzen: Gemäss aktueller NISV muss die Möglichkeit einer Verkabelung der Leitung nicht geprüft werden (Ziff. 17, Abs. 3b NISV).

1.1.4 Anmerkung zur Modellierung/Berechnung

Aufgrund der unterschiedlichen Vorgaben der NISV und der unterschiedlichen Komplexität der beiden Systeme Übertragungsleitung und Eisenbahnanlage werden für die Berechnung der verursachten magnetischen Flussdichte unterschiedliche Tools genutzt. Zudem existiert für die Übertragungsleitungen noch eine Vollzugshilfe [8], die spezifische Anleitungen gibt, die bei Eisenbahnanlagen jedoch nicht anwendbar sind. Dementsprechend sind Berechnung, die Modellierung und auch die Darstellungen der Ergebnisse der beiden Berechnungen nicht identisch. Einige Unterschiede sind:

- Übertragungsleitung:
 - Leiterlage und Feldberechnung erfolgen in 3D.
 - Die Ströme in allen Leitern sind gemäss der Vorgabe der NISV durch die Leitereigenschaften (thermisch zulässiger Dauerstrom) festgelegt.
- Eisenbahnanlage:
 - Die Stromverteilung auf die verschiedenen Leiter muss ausgehend von den Strömen am Speisepunkt berechnet werden.
 - Damit die Stromverteilung korrekt berechnet wird, muss auch die bei Wechselstrom vorhandene kapazitive und induktive Kopplung berücksichtigt werden.
 - Aufgrund der Rückstromführung über die Schienen fliesst auch ein Teil des Rückstroms durch die Erde zurück zu den Transformatoren in den Unterwerken.
 - Aufgrund der Komplexität der Anlagen und in Kombination mit den vorgenannten Punkten, müssen in der Berechnungspraxis die Anlagen als Aneinanderreihung von Abschnitten mit homogener paralleler Leiterführung modelliert werden.

1.2 Aufgabenstellung

Für den Bereich der Parzelle 2221 in Ostermundigen ist die von der SBB-Übertragungsleitung Nr. 180, respektive der SBB-Eisenbahnlinie verursachte magnetische Flussdichte unter den Bedingungen der NISV für die Emissionen zu bestimmen.

Dabei ist für die Übertragungsleitung der heutige Zustand und der Zustand nach der Verlegung im Rahmen des «AS25» zu berücksichtigen. Für die Eisenbahnanlage ist der Zustand nach dem ersten Vorbereitungsschritt für «AS25» (Gleise verschoben, Speisung mit Umgehungsleitungen) sowie nach Realisierung des «AS25» (zusätzliches Gleis, Speisung nach Linienkonzept) zu berücksichtigen. Für letztere Situation ist auch die Stromzunahme mit Zeithorizont 2050 (4-Spur-Ausbau bis Gümligen) zu prüfen.

2 ZUSAMMENFASSUNG

Die Berechnungen in der vorliegenden Studie zeigen, dass die von der Eisenbahn resp. der Übertragungsleitung Nr. 180 verursachte NIS-Belastung auf der ganzen Parzelle 2221 (bis zu den Parzellengrenzen, d.h. ohne Berücksichtigung eines Grenzabstands) und auch bei beliebig hohen Bauten den Anlagegrenzwert von $1 \mu\text{T}$ nicht überschreitet. An der bahnseitigen, südlichen Parzellengrenze erreicht die von der Eisenbahn verursachte magnetische Flussdichte jedoch gerade den Anlagegrenzwert.

Aus Sicht NIS kann deshalb die Nutzung der Räume innerhalb eines neuen Gebäudes auf der Parzelle 2221 frei gewählt werden, unabhängig davon, ob diese als OMEN gelten oder nicht.

Die Einhaltung des Anlagegrenzwerts gilt für alle untersuchten Ausbaustufen von Eisenbahn und Übertragungsleitung:

- Eisenbahn-Anlage nach dem ersten Vorbereitungsschritt für AS25 und mit massgebendem Strom entsprechend der Verkehrsprognose für das Jahr 2035
- Eisenbahn-Anlage mit Endausbau AS25 (zusätzliches Durchfahrtsgleis im Untersuchungsbereich und Speisung nach dem Linienkonzept) und mit massgebendem Strom entsprechend der Verkehrsprognose für das Jahr 2035
- Eisenbahn Vierspurausbau Ostermundigen – Gümligen mit entsprechender Zunahme des massgebenden Stroms entlang dem Untersuchungsperimeter.
- Heutige Anordnung der Übertragungsleitung
- Anordnung der Übertragungsleitung gemäss AS25 mit optimierter Anordnung der Leiter und Phasen

3 SIMULATIONSRECHNUNG

3.1 Beschreibung des Simulationsmodells für die Übertragungsleitung

3.1.1 Allgemeines

Für die Übertragungsleitung 180 werden zwei Zustände untersucht:

- Die aktuelle Lage der Übertragungsleitung
- Die Lage nach der Verlegung im zweiten Vorbereitungsschritt zu «AS25». Diese Lage entspricht für die Übertragungsleitung auch dem Endzustand nach Realisierung von «AS25».

3.1.2 Koordinatensystem

Der Ursprung des Koordinatensystems des Modells wurde für beide Zustände bei der Achse des heutigen Masten 11 der SBB UL 180 (Landeskoordinaten 2603222.665 / 1200878.364 [2]) auf einer Höhe von 551.5 m.ü.M. (entspricht ca. der Arealhöhe der Parzelle 2221) festgelegt. Die positive x-Achse zeigt dabei nach Osten, die positive y-Achse zeigt nach Norden und die positive z-Achse senkrecht nach oben.

Die Leiterlagen und die entsprechenden Ströme wurden in EMFCALC3D erfasst, anschliessend wurde mit EMFCALC3D die resultierende magnetische Flussdichte berechnet. Zur Visualisierung der Parzellenlage wurde auch die Parzellengrenze, basierend auf dem GIS Mittelland [7], in EMFCALC3D erfasst.

3.1.3 Modell der Übertragungsleitung

3.1.3.1 Heutige Lage der Übertragungsleitung

Die Modellierung der Übertragungsleitung 180 der SBB erfolgte gemäss den Mastbildern [2] und dem Längenprofil [3].

Auf den Masten der Übertragungsleitung 180 sind zwei Leitungsstränge (BE-WI und BE-TH) geführt. Die Lastflussrichtung dieser Leitungsstränge ist gleichsinnig, da sie im Normalbetrieb beim UW Bern Wylerfeld und in Wimmis verbunden sind (Der Leitungsstrang BE-TH führt zum UW Thun und von dort weiter als TH-WI nach Wimmis).

Die Phasenbelegung ist gemäss den Mastbildern [2] auf dem Masten 10 für die gleichsinnige Lastflussrichtung und damit auch für minimale NIS-Belastung optimiert. Auf den Masten 11 und 12 ist die Phasenbelegung nicht mehr optimiert.

Der gemäss NISV relevante thermische Grenzstrom beträgt 915 A [8] für jeden der Phasenleiter (550 mm² Aldrey).

Das Modell der Übertragungsleitung umfasst alle vier Phasenleiter der UL 180.

Anmerkungen:

- Da bei den Übertragungsleitungen Hin- und Rückleitung ausschliesslich über die beiden Leiter eines Stranges erfolgen, muss das Erdseil für das System „Übertragungsleitung“ nicht berücksichtigt werden. Es fliesst kein Strom aus diesem System. Da die UL jedoch entlang der Eisenbahn geführt ist, sind die UL-Masten und damit auch das Erdseil mit dem Rückleitungssystem der Eisenbahn verbunden und das Erdseil muss beim System „Eisenbahn“ berücksichtigt werden.
- Die mit «FS» bezeichneten Leiter in der Abbildung 3-1 sind die an den entsprechenden Stellen auf den UL-Masten geführten Umgehungsleitungen der Fahrleitungsanlage und sind beim System Eisenbahn zu berücksichtigen.

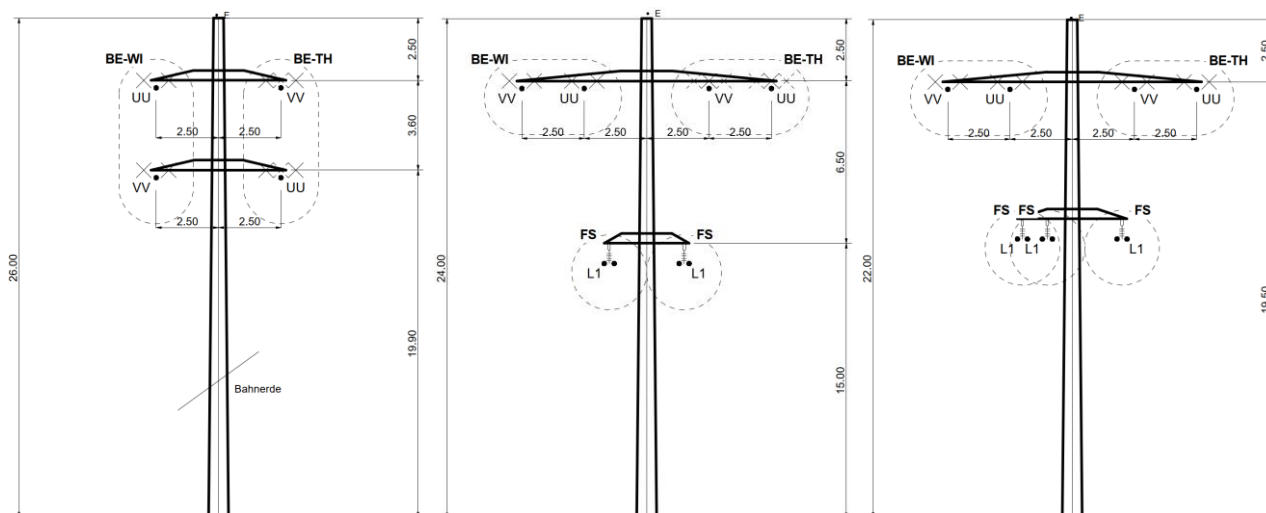


Abbildung 3-1: Mastbilder der Masten 10, 11 und 12 (von links nach rechts). Blickrichtung und Abfolge der Masten jeweils Richtung Thun. Quelle: [2]

	Mast 10	Mast 11	Mast 12
x-Koordinate [m]	2603191.782	2603222.665	2603239.303
y-Koordinate [m]	1201018.15	1200878.364	1200777.449
Fundamenthöhe [m.ü.M.]	554.07	557.02	557.3

Tabelle 3-1: Position der Achsen der UL-Masten (in Landeskoordinaten). Quelle: [2].

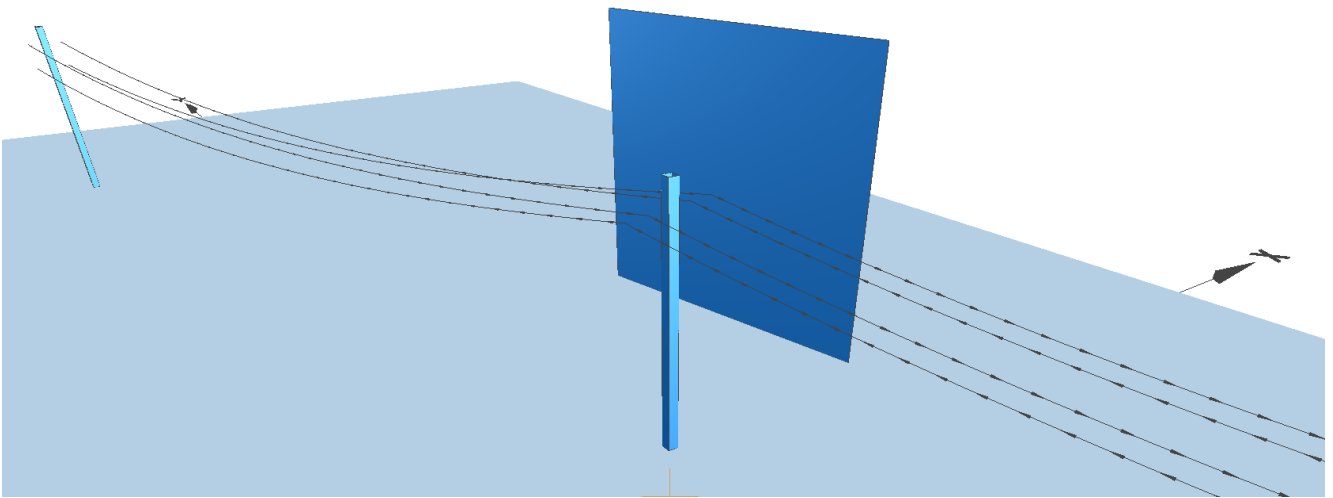


Abbildung 3-2: Modellvisualisierung der Übertragungsleitung 180 im aktuellen Zustand. Schwarze Linien stellen die Leiter dar, die dunkelblaue Fläche die UL-seitige Grenze der Parzelle 2221 (über eine Höhe von $z=0.35$ m) und die blauen Balken die Masten 10-11 (von links nach rechts). Blick aus Südwesten.

3.1.3.2 Lage der Übertragungsleitung mit «AS25»

Die Modellierung der Übertragungsleitung 180 der SBB im Zustand nach der Verlegung erfolgte gemäss den Mastbildern [4], dem Längenprofil [5] und dem Situationsplan [6].

Auf den Masten der Übertragungsleitung 180 sind weiterhin die zwei Leitungsstränge (BE-WI und BE-TH) geführt. Die Lastflussrichtung dieser Leitungsstränge ist gleichsinnig, da sie im Normalbetrieb beim UW Bern Wylerfeld und in Wimmis verbunden sind (Der Leitungsstrang BE-TH führt zum UW Thun und von dort weiter als TH-WI nach Wimmis).

Die Phasenbelegung für die künftige Leitungsführung ist gemäss den Mastbildern [4] für die gleichsinnige Lastflussrichtung und damit auch für minimale NIS-Belastung optimiert.

Der gemäss NISV relevante thermische Grenzstrom beträgt weiterhin 915 A [8] für jeden der Phasenleiter (550 mm^2 Aldrey).

Das Modell der Übertragungsleitung umfasst alle vier Phasenleiter der UL 180.

Anmerkung: Da bei den Übertragungsleitungen Hin- und Rückleitung ausschliesslich über die beiden Leiter eines Stranges erfolgen, muss das Erdseil für das System „Übertragungsleitung“ nicht berücksichtigt werden. Es fliesst kein Strom aus diesem System. Da die UL jedoch entlang der Eisenbahn geführt ist, sind die UL Masten und damit auch das Erdseil mit dem Rückleitungssystem der Eisenbahn verbunden und das Erdseil muss beim System „Eisenbahn“ berücksichtigt werden.

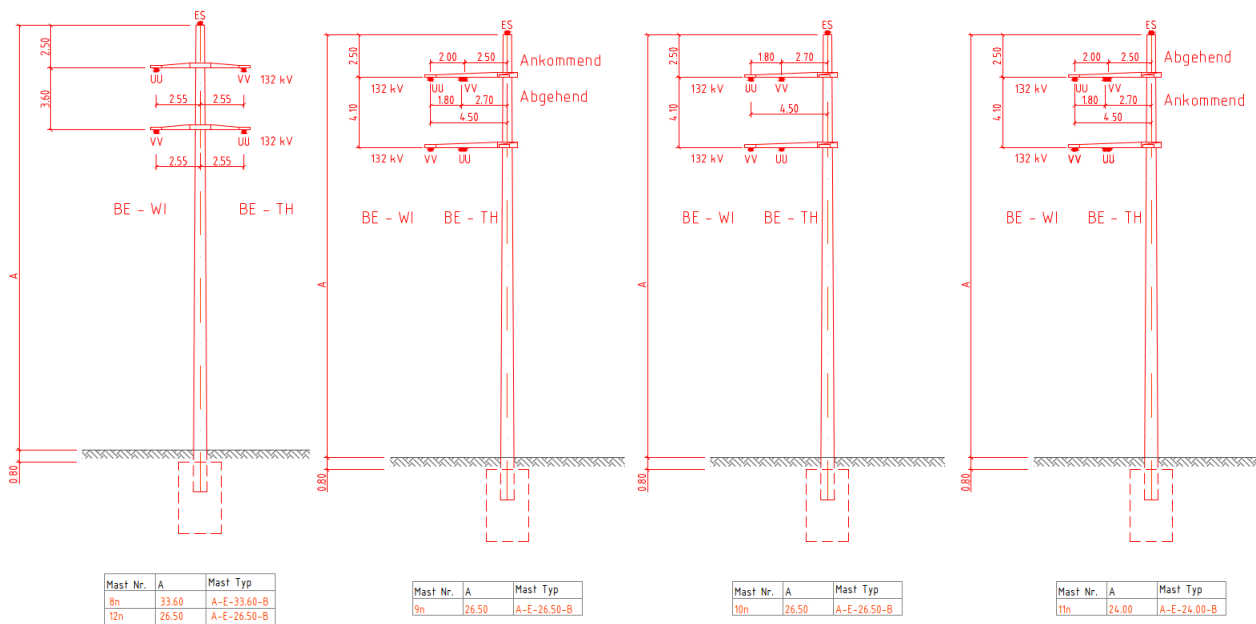


Abbildung 3-3: Mastbilder der Masten 9N, 10N, 11N und 12N. Blickrichtung und Abfolge der Masten jeweils Richtung Thun. Quelle: [4]

	Mast 9N	Mast 10N	Mast 11N	Mast 12N
x-Koordinate [m]	2603177.25	2603203.145	2603224.350	2603263.340
y-Koordinate [m]	1201054.237	1200955.829	1200848.728	1200734.446
Fundamenthöhe [m.ü.M.]	554.41	552.50	554.86	557.7

Tabelle 3-2: Position der Achsen der UL-Masten (in Landeskoordinaten). Quelle: [6], x-Koordinaten für Mast 11N korrigiert.

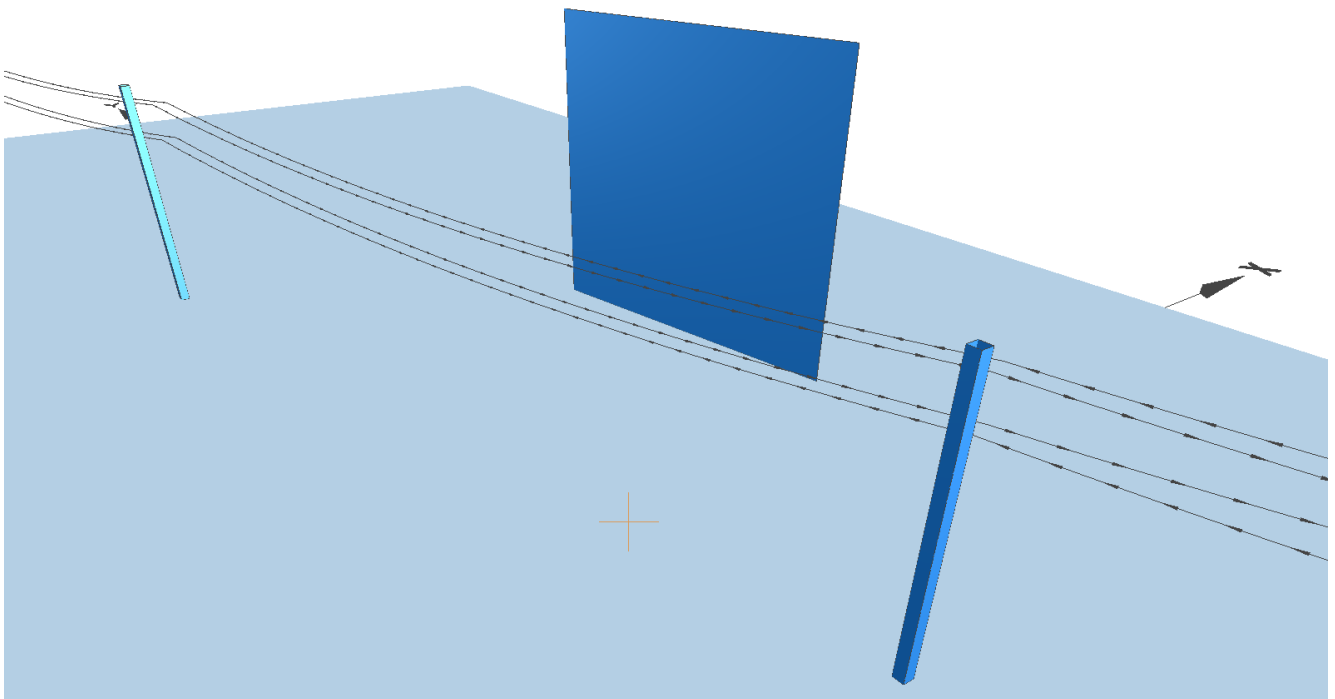


Abbildung 3-4: Modellvisualisierung der Übertragungsleitung 180 im Zustand nach der Verlegung. Schwarze Linien stellen die Leiter dar, die dunkelblaue Fläche die UL-seitige Grenze der Parzelle 2221 (über eine Höhe von $z=0.35$ m) und die blauen Balken die Masten 10N-11N (von links nach rechts). Blick aus Südwesten.

3.2 Beschreibung des Simulationsmodells für die Eisenbahnanlage

3.2.1 Allgemeines

Es wurden drei verschiedene Ausbaustufen der Eisenbahn-Infrastruktur untersucht:

- «Ausbaustufe Vorbereitung AS25»: Anpassung der heutigen Gleislage an die künftigen Anforderungen und um Platz zu schaffen für die neuen Masten der Übertragungsleitung Nr. 180. Entlang der Parzelle 2221 gibt es weiterhin 3 Durchfahrtsgleise. Fahrleitung mit Streckentrennungen und Umgehungsleitungen. Der Strom fließt im Wesentlichen in den Umgehungsleitungen. Die Kettenwerke der Durchfahrtsgleise werden im Stich bis zu den Streckentrennungen versorgt und der Strom ist entsprechend tief.
- «Ausbaustufe AS25»: Zwischen Wankdorf und Ostermundigen ist ein zusätzliches Gleis vorhanden (4 statt heute 3 Durchfahrtsgleise entlang der Parzelle 2221). Die Speisung der Eisenbahn wird vom Konzept mit Umgehungsleitungen auf das «Linienkonzept» umgestellt (d.h. ohne Umgehungsleitungen, der Strom fließt in den Kettenwerken). Entspricht der Fahrleitungsanlage im Endzustand von «AS25».
- «Zeithorizont 2050»: Längerfristig ist ab Ostermundigen Richtung Gümligen der Ausbau auf vier Gleise vorgesehen. Dies wird entlang der Parzelle 2221 zu einer Zunahme des massgebenden Stroms führen. Ansonsten entspricht dieser Zustand dem Endzustand von «AS25». Ein konkreter Zeitplan besteht noch nicht (ca. Zeithorizont 2050).

3.2.2 Koordinatensystem

- x-Achse: Ursprung in der Mitte des heutigen Gleis 3 und seiner Fortsetzung Richtung Wankdorf resp. Gümligen („Referenzgleis“). Positive Werte nach rechts bei Blickrichtung Thun (also in aufsteigender Kilometrierung). Anmerkung: Die x-Achse bleibt für alle drei Ausbaustufen auf dieses Gleis bezogen, auch wenn mit dem zusätzlichen Gleis von «AS25» kein Gleis mehr in dieser Lage verbleibt.
- y-Achse: Ursprung auf SOK, positive Werte nach oben.
- z-Achse: Entlang der Strecke wird die Streckenkilometrierung verwendet. Aufsteigende Kilometrierung in Richtung Bern → Thun.

3.2.3 Modellbereich

Damit die Erdströme im Untersuchungsperimeter korrekt erfasst werden und um die Stromverteilung auf die verschiedenen Kettenwerke, respektive Umgehungsleitungen automatisch durch SIMNET berechnen zu können, wird für das Modell der Untersuchungsperimeter beidseits mit Standard-Leiteranordnungen ergänzt. Der Modellbereich erstreckt sich in z-Richtung von km 107.000 bis km 119.000. Die Parzelle 2221 erstreckt sich entlang km 110.473 – 110.515.

3.2.4 Modell der Eisenbahnanlage

3.2.4.1 Massgebender Strom

Die Fahrleitungsanlage im Untersuchungsbereich wird zweiseitig ab den Unterwerken Bern und Thun gespeist. Aufgrund der Nähe zum UW Bern wird der massgebende Strom anhand der Strommessungen im UW Bern abgeleitet.

Die Strecke von Bern Wankdorf in Richtung Ostermundigen und weiter ins Aaretal wird vom Abgang 1006 gespeist. Entlang dem Untersuchungsbereich verlaufen zusätzlich die Speiseleitungen 17/18 der Linie Gümligen – Konolfingen – Luzern. Diese Speiseleitungen werden über den Abgang 1005 gespeist. SBB hat eine Hochrechnung der im Aaretal resp. nach Luzern geführten Bruttotonnen vom Jahr 2019 auf 2035 gemacht [14]. Die entsprechenden Faktoren werden für die Hochrechnung des massgebenden Stroms auf den künftigen massgebenden Strom für den «Ausbaustand Vorbereitung AS25» und «Ausbaustand AS25» verwendet.

Für die Änderung von Drei- auf Vierspur von Ostermundigen nach Gümligen («Zeithorizont 2050») wurde davon ausgegangen, dass der Strom nach der entsprechenden Realisierung proportional zu den Anzahl Gleisen zunimmt (d.h. Faktor 4/3 des massgebenden Stroms von «Ausbaustand AS25»). Der Strom in den Speiseleitungen 17/18 der Linie Gümligen – Konolfingen – Luzern bleibt unverändert.

Als zusätzlicher Worst-Case wurde für alle Varianten darauf verzichtet, eine Reduktion des 24-h-Stroms vom Speisepunkt zum Untersuchungsbereich vorzunehmen.

Abgang UW Bern	24-h-Strom 2019 [A]	Hochrechnungs-faktor	In der Studie genutzter Strom [A]
1005	69.5	1.48	103
1006 (Vorbereitung AS25, AS25)	178	1.55	276
1006 (Zeithorizont 2050)			378

Tabelle 3-3: Bestimmung des massgebenden 24-h-Stroms. 24-h-Strom 2019 gemäss [13], Hochrechnungsfaktoren gemäss [14]. Stromhochrechnung Abgang 1006 für den Zeithorizont 2050 siehe Haupttext.

Ausbaustand	Abgang 1005 [A]	Abgang 1006 [A]	Speisekonzept
Vorbereitung AS25	103	276	mit Umgehungsleitungen
AS25	103	276	Linienkonzept
Zeithorizont 2050	103	378	Linienkonzept

Tabelle 3-4: Massgebende 24-h-Ströme, die für die drei Ausbauvarianten im Modell eingespeist wurden, und Speisekonzept.

Im Ausbaustand «Vorbereitung AS25» mit dem Speisekonzept mit Umgehungsleitungen (E1, 1 und 2) fliesst im Modell in den Kettenwerken der Durchgangsgleise im massgebenden 24-h-Mittel nur ein geringer Strom. Diese Kettenwerke werden ab dem Schaltposten Ostermundigen (km 110.631) bis zur Streckentrennung Seite Bern bei km 110.129 im Stich gespeist. Entlang dem Untersuchungsbereich fliesst deshalb nur dann ein Strom in den Kettenwerken, wenn die Züge zwischen km 110.515 (südliches Ende Untersuchungsbereich) und der Streckentrennung verkehren. Im 24-h-Mittel ist dieser Strom im Vergleich zu den Strömen in den Speiseleitungen 17/18 und den Strömen in den Umgehungsleitungen gering. Es wurden pro Gleis 5 A angenommen.³

Die Anschlussgleise 14, 15, 24 und 25 wurden nicht modelliert. Sie sind gemäss den Situationsplänen und den Schaltschemata zum Vorbereitungsschritt 1 und auch zum Endzustand von AS25 nicht mehr mit dem Bahnhof Ostermundigen verbunden. Wenn der Anschluss trotzdem wieder reaktiviert werden würde, ist der Strom in diesen Gleisen zudem vernachlässigbar tief.

Für den «Ausbaustand Vorbereitung AS25» erfolgte die Modellierung der Speisung gemäss dem Schaltschema [15] und für «Ausbaustand AS25» und «Zeithorizont 2050» gemäss dem Projekt-Schaltschema [16].

³ Angewendete Grobabschätzung: Pro Tag verkehren rund 440 Züge über die drei Gleise zwischen Wankdorf und Ostermundigen [13]. Verkehren die Züge mit 80 km/h, so legen sie die Strecke von 385 m innerhalb von 17.3 s zurück. Pro Gleis wird deshalb während 2.9 % des Tages Strom bezogen. Bei einem Leistungsbezug eines Zugs von 2 MW und bei der Nennspannung von 15 kV fließen 133 A und deshalb im 24-h-Mittel $133 \text{ A} \cdot 2.9 \% = 3.9 \text{ A}$.

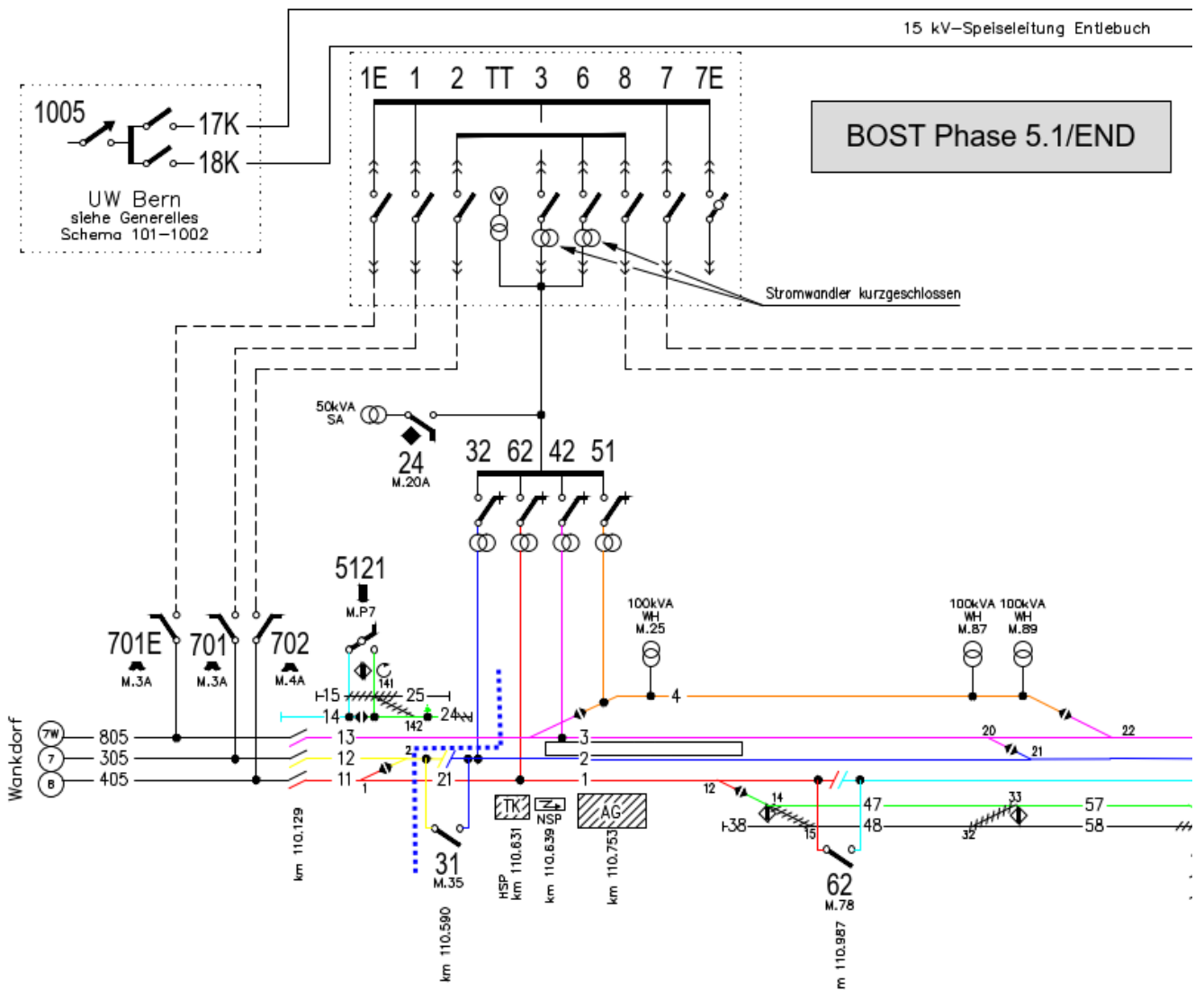


Abbildung 3-5: Auszug aus dem Schaltschema für den Ausbaustand Vorbereitung AS25. Speisekonzept mit Umgehungsleitungen (1E, 1, 2 auf Seite Wankdorf). Die heutigen Anschlussgleise 14, 15, 24, 25 sind abgetrennt. Die Parzelle 2221 liegt im Bereich von km 110.5 und die entsprechende Lage ist schematisch mit der blau gepunkteten Linie eingezeichnet. Quelle: [15], ergänzt.

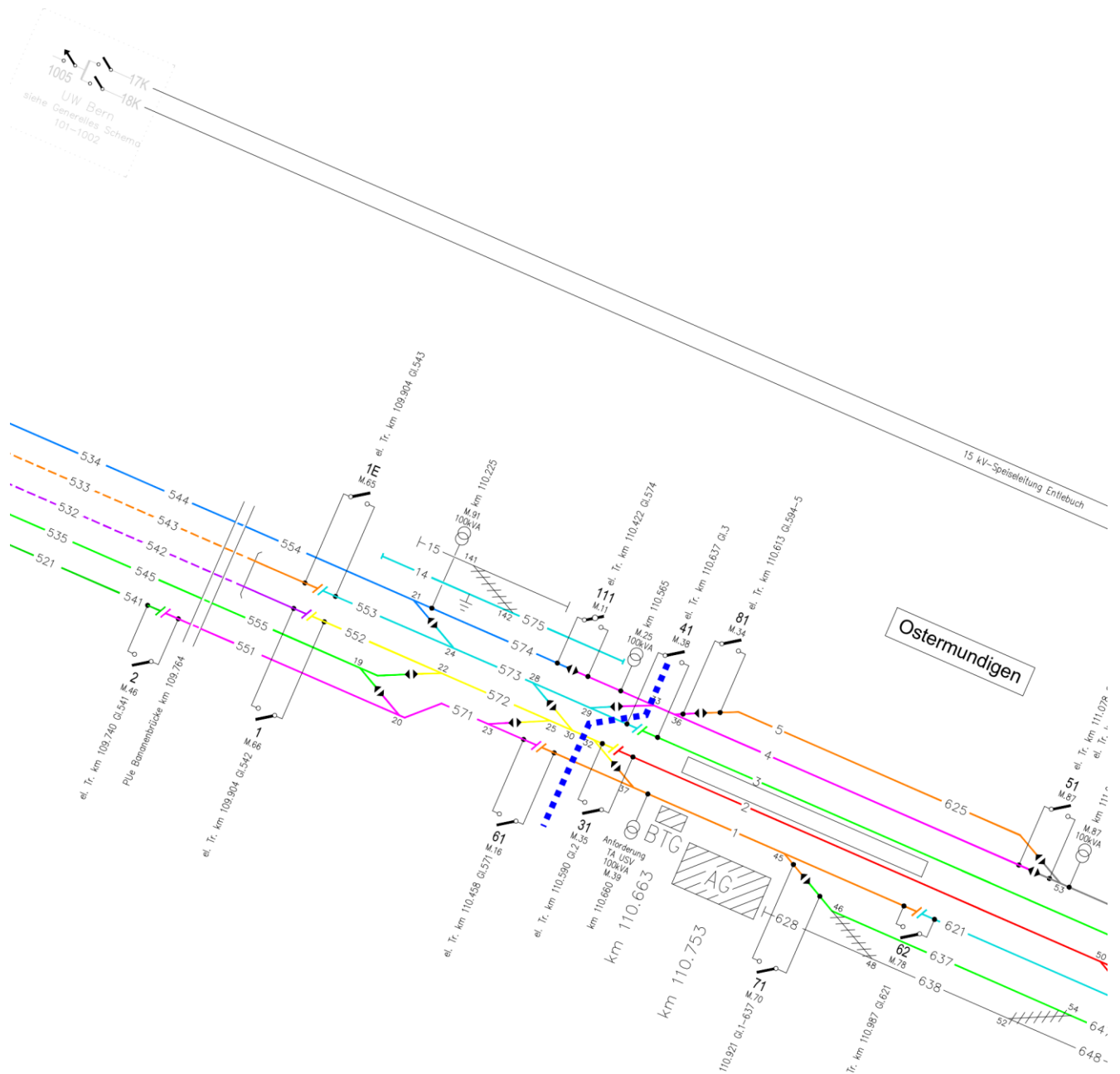


Abbildung 3-6: Auszug aus dem Schaltschema für den Ausbaustand AS25 und den Zeithorizont 2050. Speisung nach dem Linienkonzept: Die hohen Ströme fließen in den Kettenwerken der Gleise, es gibt keine Umgehungsleitungen mehr. Die heutigen Anschlussgleise 14, 15, 24, 25 sind abgetrennt. Die Parzelle 2221 liegt im Bereich von km 110.5 und die entsprechende Lage ist schematisch mit der blau gepunkteten Linie eingezeichnet. Quelle:[16], ergänzt.

Anmerkung zur Modellierung der Speisung für den Ausbaustand AS25 und Zeithorizont 2050 (siehe auch Abbildung 3-6): Das Kettenwerk des Gleises 574 – 4 ist beim Schalter 111 im Normalzustand aufgetrennt (für NIS-Betrachtungen ist der Normalzustand relevant). Das Gleis 4 wird von der Südseite im Stich bis zum Schalter 111 gespeist und es fließt deshalb im Kettenwerk von Gleis 4 nur dann ein Strom entlang der Parzelle 2221, wenn ein Zug im Bereich zwischen dem Schalter 111 (km 110.422) und der Parzelle 2221 (km 110.500) verkehrt. Im für die Emissionen relevanten 24-h-Mittel fließt in diesem kurzen Abschnitt deshalb nur ein vernachlässigbar geringer Strom.

3.2.4.2 Leitereigenschaften

Die Parameter der im Modell verwendeten Leiter sind in Tabelle 3-5 aufgeführt.

Leiter	Material	Querschnitt [mm ²]	Äquivalenter Radius [mm]	Relative Permeabilität	Spezifischer elektrischer Widerstand (20°C) [Ω/m]	Bemerkungen
Schiene UIC 60	Stahl	7686	108	50	3.000E-05	Leitwert gegenüber Erde 0.001 S/m
Cu 107 mm ² FD	Cu	107	6.125	1	1.661E-04	Fahrdraht
Staku 92 mm ² TS	Staku 92	92	6.15	1	2.220E-04	Tragseil
Aldrey 300 mm ² RL	Aldrey	300	9.8	1	1.130E-04	Rückleiterseil
Cu 95 mm ² SL	Cu	95	6.25	1	1.871E-04	Speiseleitung (jeweils 2 Leiter als Bündelleiter)
Cu 95 mm ² UmL	Cu	95	6.25	1	1.871E-04	Umgehungsleitung (jeweils 2 Leiter als Bündelleiter)
Erdseil UL	Aldrey	300	9.8	1	1.130E-04	Erdseil auf den Masten der Übertragungsleitung geführt, regelmässig mit der Rückleitung der Bahn verbunden

Tabelle 3-5: Parameter der im Modell eingesetzten Leiter.

3.2.4.3 Leiteranordnung

3.2.4.3.1 Ausbaustufe Vorbereitung AS25

Die Modellierung der Leiterpositionen erfolgte anhand der von SBB zur Verfügung gestellten Querprofile [10] der aktuellen Anlage. Die entsprechenden Querprofile wurden dann an die Gleislage entsprechend dem Situationsplan [9] für den Ausbaustand Vorbereitung AS25 angepasst.

Die nachfolgenden Abbildungen der Querprofile zeigen die Aufhängehöhe der Leiter. Für Speiseleitungen, Umgehungsleitungen, Rückleiterseile und Tragseile wird im Modell jedoch ein mittlerer Durchhang von 0.5 m berücksichtigt. Bei der Darstellung der Ergebnisse (Kapitel 4.2) wird die Lage unter Berücksichtigung des Durchhangs dargestellt.

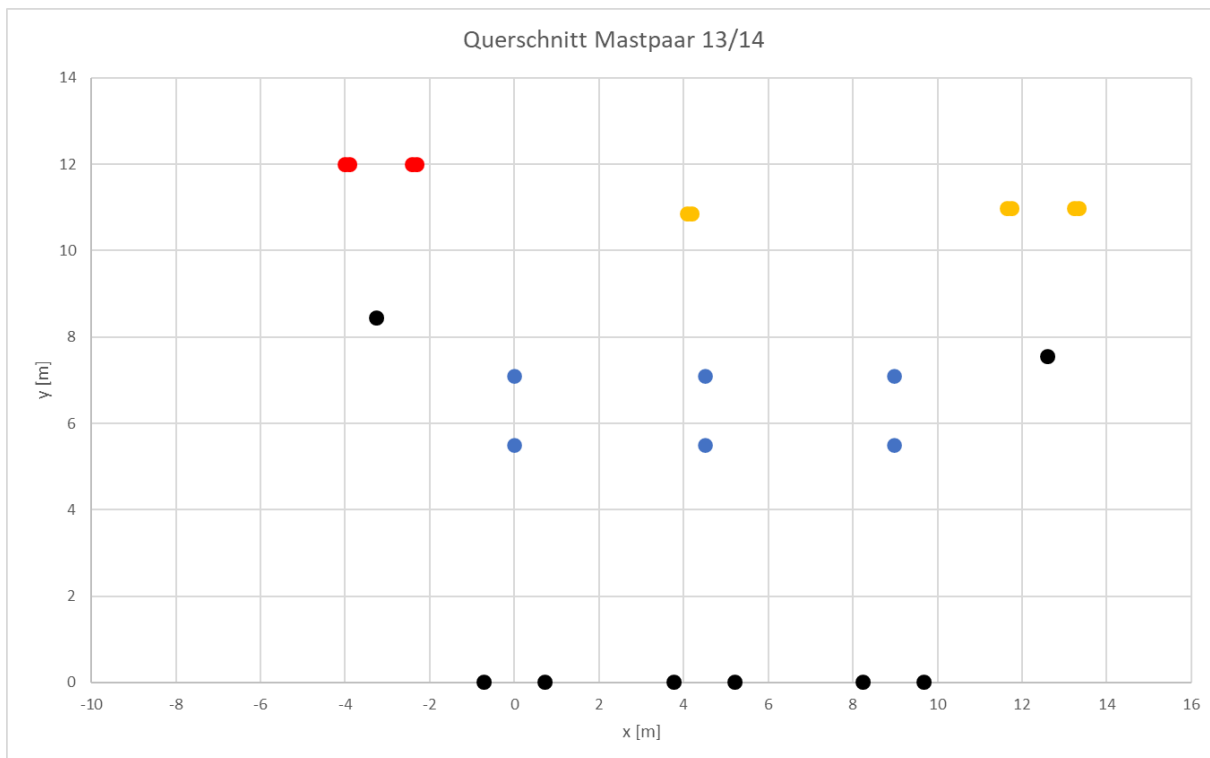


Abbildung 3-7: Leiteranordnung beim Mastpaar 13/14; km 110.462. Blau: Kettenwerke, rot: Speiseleitungen 17/18 zur Linie Gümligen – Luzern, gelb: Umgehungsleitungen, schwarz Schienen und Rückleiterseile.

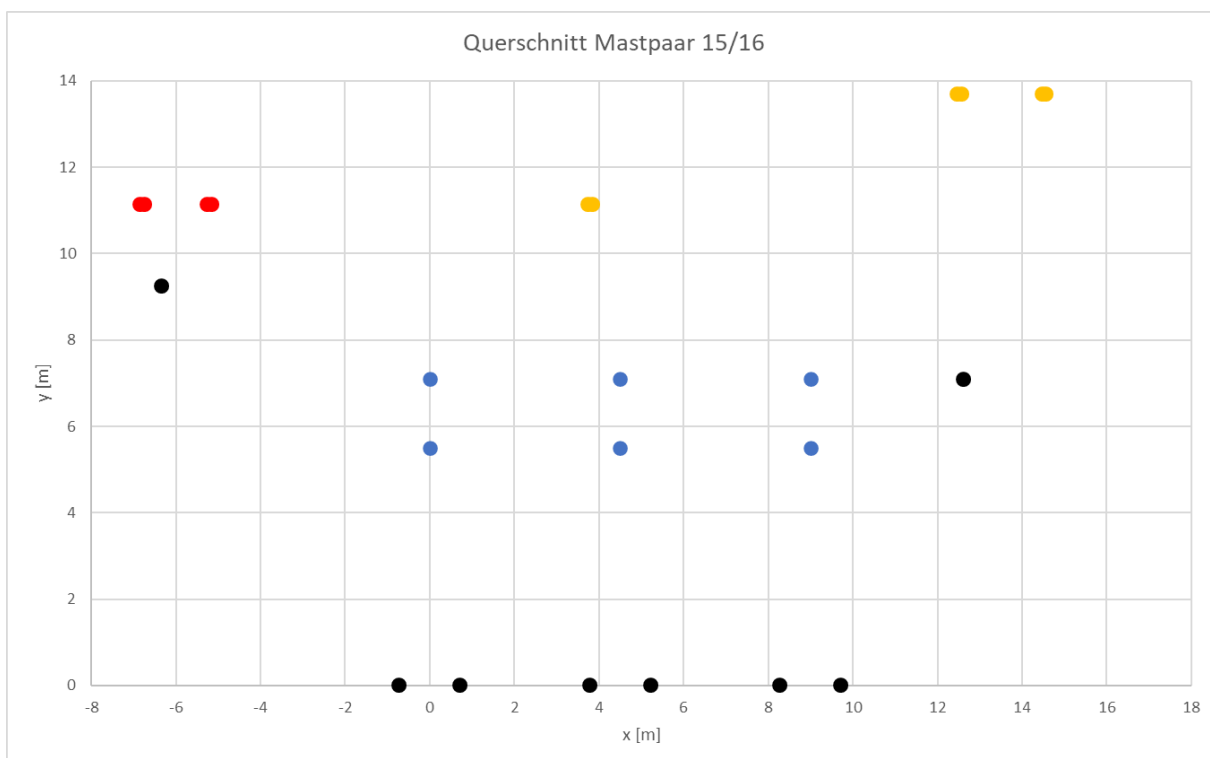


Abbildung 3-8: Leiteranordnung beim Mastpaar 13/14; km 110.462. Blau: Kettenwerke, rot: Speiseleitungen 17/18 zur Linie Gümligen – Luzern, gelb: Umgehungsleitungen, schwarz Schienen und Rückleiterseile.

3.2.4.3.2 Ausbaustufe AS25

Die Modellierung der Leiterpositionen erfolgte anhand des von SBB zur Verfügung gestellten typischen Querprofils [12] für die Ausbaustufe AS25. Weitere Querprofile wurden dann aus diesem typischen Querprofil an die Gleislage entsprechend dem Situationsplan [11] abgeleitet.

Die nachfolgende Abbildung des Querprofils auf der Höhe der Parzelle 2221 zeigt die Aufhängehöhe der Leiter. Für Speiseleitungen, Umgehungsleitungen, Rückleiterseile und Tragseile wird im Modell jedoch ein mittlerer Durchhang von 0.5 m berücksichtigt. Bei der Darstellung der Ergebnisse (Kapitel 4.2) wird die Lage unter Berücksichtigung des Durchhangs dargestellt.

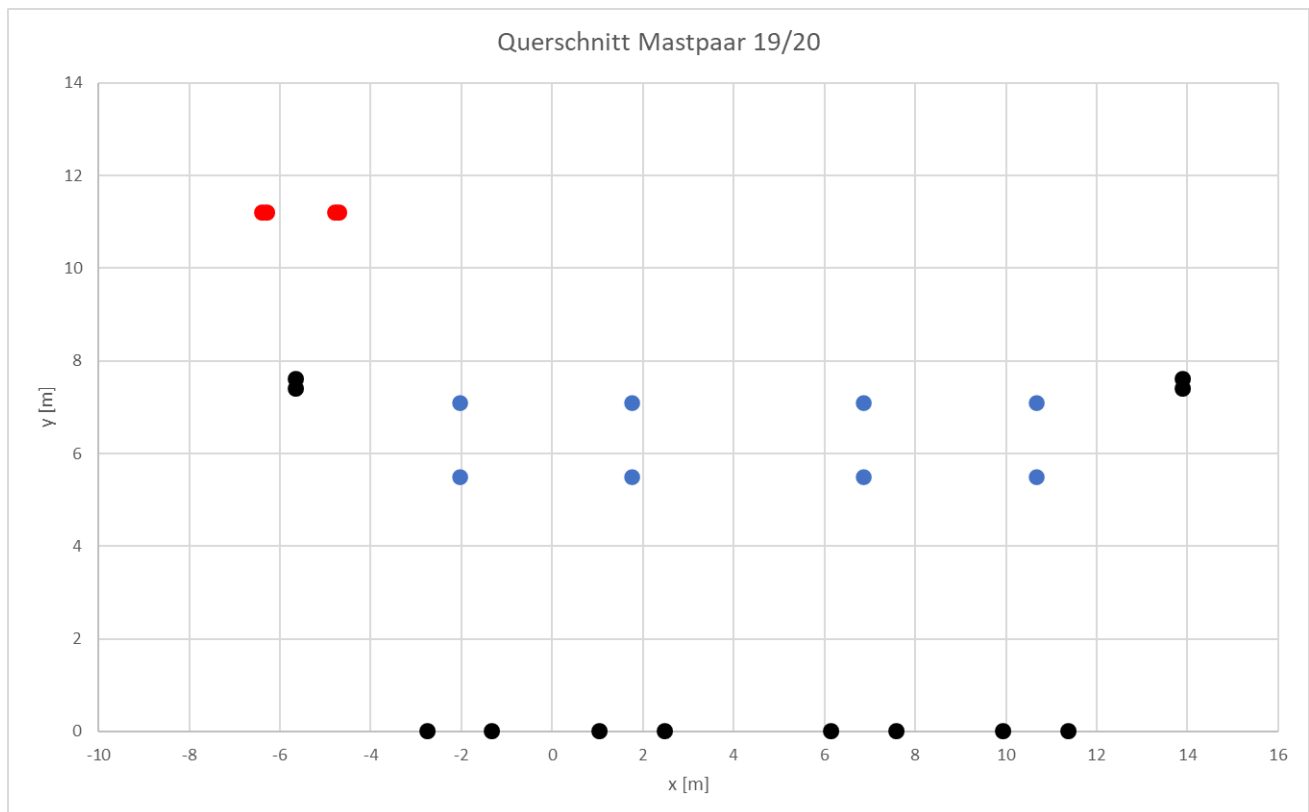


Abbildung 3-9: Leiteranordnung beim Mastpaar 19/20; km 110.493. Blau: Kettenwerke, rot: Speiseleitungen 17/18 zur Linie Gümligen – Luzern, schwarz Schienen und Rückleiterseile.

3.2.4.3.3 Zeithorizont 2050

Die Leiteranordnung für das Szenario 2050 entspricht der Anordnung für die Ausbaustufe AS25. Einzig der Strom in den Kettenwerken der Durchfahrtsgleise ist um den Faktor 4/3 höher (siehe auch Kapitel 3.2.4.1).

3.2.4.4 Querverbindungen Oberleitung

Fahrdraht und zugehöriges Tragseil sind im Modell alle 10 m niederohmig verbunden (Hänger).

Die Aufteilung des Stroms auf die verschiedenen Hinleiter (Kettenwerke/Umgehungsleitungen) der Gleise und die Verteilung auf die beiden Speiseleitungen 17/18 erfolgte durch SIMNET unter Berücksichtigung der induktiven und kapazitiven Kopplung. Die Kettenwerke/Umgehungsleitungen sind

dabei beim Abgang 1006 im UW Bern, beim Schaltposten Ostermundigen (nur Ausbaustand Vorbereitung AS25) und in Gümligen niederohmig querverbunden.

3.2.4.5 Erdung und Querverbindung Rückleiter

Alle 250 m (bei einem typischen Mastabstand von 50 m bei jedem fünften Masten) verbinden niederohmige Querverbindungen Rückleiterseil und Schienen. Beide Schienen eines Gleises sind rückstromführend.

Für die Erdung wurden Erfahrungswerte gemäss Tabelle 3-6 verwendet:

Erdungsparameter	Wert
Masterdung Fahrleitung	alle 50 m mit 25 Ω pro Mast
Leitwert zwischen Schienen und Erde	0.001 S/m

Tabelle 3-6: Verwendete Erfahrungswerte für die Erdung

Die Aufteilung des Stroms auf die verschiedenen Rückleiter (Schienen, Rückleiterseile) erfolgte durch SIMNET unter Berücksichtigung der induktiven und kapazitiven Kopplung.

3.3 Verwendete Tools

3.3.1 Modul SIMNET aus FABEL

Das Softwarewerkzeug SIMNET dient der Berechnung von Strömen und Spannungen in einem Netzwerk mit parallel verlaufenden Leitern, also wie dies typischerweise in einer Bahntrasse mit Fahrdraht, Tragseil, Speiseleitungen, Feeder, Rückleiterseilen, Schienen und Kabel der Fall ist. Das Programm gelangt insbesondere zur Anwendung bei der

- Berechnung der Rückstromführung in Tunneln und auf offener Strecke (Rückleiterseile, Schienen, Armierung, Erdreich etc.)
- Berechnung der Stromaufteilung zwischen verschiedenen, parallel verlaufenden Hin- und Rückleitern
- Berechnung der magnetischen Flussdichte bei einer bestimmten Leiteranordnung und Leiterbelastung
- Berechnung der Impedanzen für verschiedene Fahrleitungs- und Rückleitungsanordnungen als Grundlage für FABEL
- Berechnung der Beeinflussung von parallel verlaufenden Signal- und Fernmeldekabeln
- Ermittlung von Spannungen und Potenzialen von Leitern und der Erde in Kurzschlussfällen und während des Normalbetriebs
- Abschätzung der Auswirkungen von Erdungen und unterschiedlichen Leiteranordnungen

SIMNET führt eine Netzwerkberechnung unter Berücksichtigung einer beliebig langen Aneinanderreihung von Abschnitten durch, die jeweils aus parallelen Leitern und Verbindungen (Impedanzen, Quellen) zwischen den Leitern und nach Erde bestehen. Die Berechnung erfolgt für eine

wählbare Frequenz. Basierend auf den ermittelten Stromverteilungen kann EMFCALC die resultierende magnetische Flussdichte in senkrecht zu den Leitern stehenden Ebenen berechnen.

Für jede in einem System vorkommende Leiteranordnung (Trasstyp) werden die geometrischen und physikalischen Daten der Leiter in einer Bibliothek abgelegt. Zu den Leiterdaten gehören: Position jedes Leiters im Querschnitt-Koordinatensystem, Leiterdurchmesser, relative Permeabilität, spezifischer Gleichstromwiderstand, Ableitungswiderstand nach Erde. Ebenso wird eine Bibliothek aller Querverbindungen zwischen den Leitern angelegt, z. B. für Einspeisungen, Verbraucher (Züge), Erdverbindungen, Masterdungen, Leiterverbindungen etc. Der zu untersuchende Streckenabschnitt wird modelliert, indem die vorkommenden Leiteranordnungen als Abschnitte entsprechender Länge aneinandergereiht und die verschiedenen Arten von Querverbindungen an den gewünschten Stellen platziert werden.

SIMNET berechnet aufgrund der Modelldaten die ohmschen Widerstände, die Eigeninduktivitäten und die Kapazitätsbeläge der einzelnen Leiter, die induktiven und kapazitiven Kopplungen sämtlicher Leiter untereinander und nach Erde. Dabei wird die Stromverdrängung in den Leitern ebenso berücksichtigt wie die erwartete Erdstromtiefe und der Erdwiderstand.

3.3.2 EMFCALC

EMFCALC ist ein Programm zur Berechnung des magnetischen Feldes im Bereich einer Eisenbahnstrecke. Als Grundlage für eine Berechnung mit EMFCALC dient die mit SIMNET ermittelte Stromverteilung auf die verschiedenen Leiter.

EMFCALC berechnet die magnetische Flussdichte in Ebenen, die senkrecht zu den Leitern stehen. Die Flussdichte wird an vordefinierten Punkten in diesen Ebenen berechnet. Der Abstand dieser Punkte kann vom Benutzer gewählt werden. Die berechnete magnetische Flussdichte kann mit der Darstellung von Isolinien visualisiert werden.

3.3.3 EMFCALC3D

EMFCALC3D ist ein Programm zur Berechnung der magnetischen Flussdichte im Umfeld von elektrischen Leitern. Die Leiter können dabei beliebig im Raum angeordnet sein. Das Programm eignet sich daher unter anderem für die Berechnung der Magnetfelder von komplexen Anlagen, wie Unterwerke oder Schaltposten mit Anbindung an die Fahrleitung. Die Visualisierung der magnetischen Flussdichte erfolgt mit der Darstellung von Isolinien der magnetischen Flussdichte in frei konfigurierbaren Schnittebenen.

Mit EMFCALC3D können auch Überlagerungen von Magnetfeldern verschiedener Frequenzen oder von Ein- und Mehrphasensystemen berechnet werden. Dazu sind in EMFCALC3D die üblichen Summationsvorgaben – wie sie zum Beispiel von der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) vorgeschlagen oder in der schweizerischen Verordnung zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) vorgegeben sind – implementiert.

4 ERGEBNISSE

4.1 Feld der Übertragungsleitung

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die von der UL 180 der SBB verursachte magnetische Flussdichte unter den Bedingungen der NISV für die Emissionen.

- In den Abbildungen ist die UL-seitige Grenze der Parzelle 2221 mit einer grünen Linie dargestellt.
- Die Leiterlage ist mit blauen Linien (in der Projektion auf die dargestellte Ebene, resp. mit blauen Punkten beim Durchstossen der dargestellten Ebene) dargestellt.
- Die Isolinien der magnetischen Flussdichte sind schwarz, wobei der AGW von 1 μT rot hervorgehoben ist.
- Die Parzelle 2221 liegt jeweils rechts der grünen Linie.
- Koordinaten gemäss Kapitel 3.1.1. Im Ursprung ($x/y = 0 \text{ m}/0 \text{ m}$) befindet sich der Mast Nr. 11 (als grünes Quadrat dargestellt).

4.1.1 Heutige Lage der Übertragungsleitung

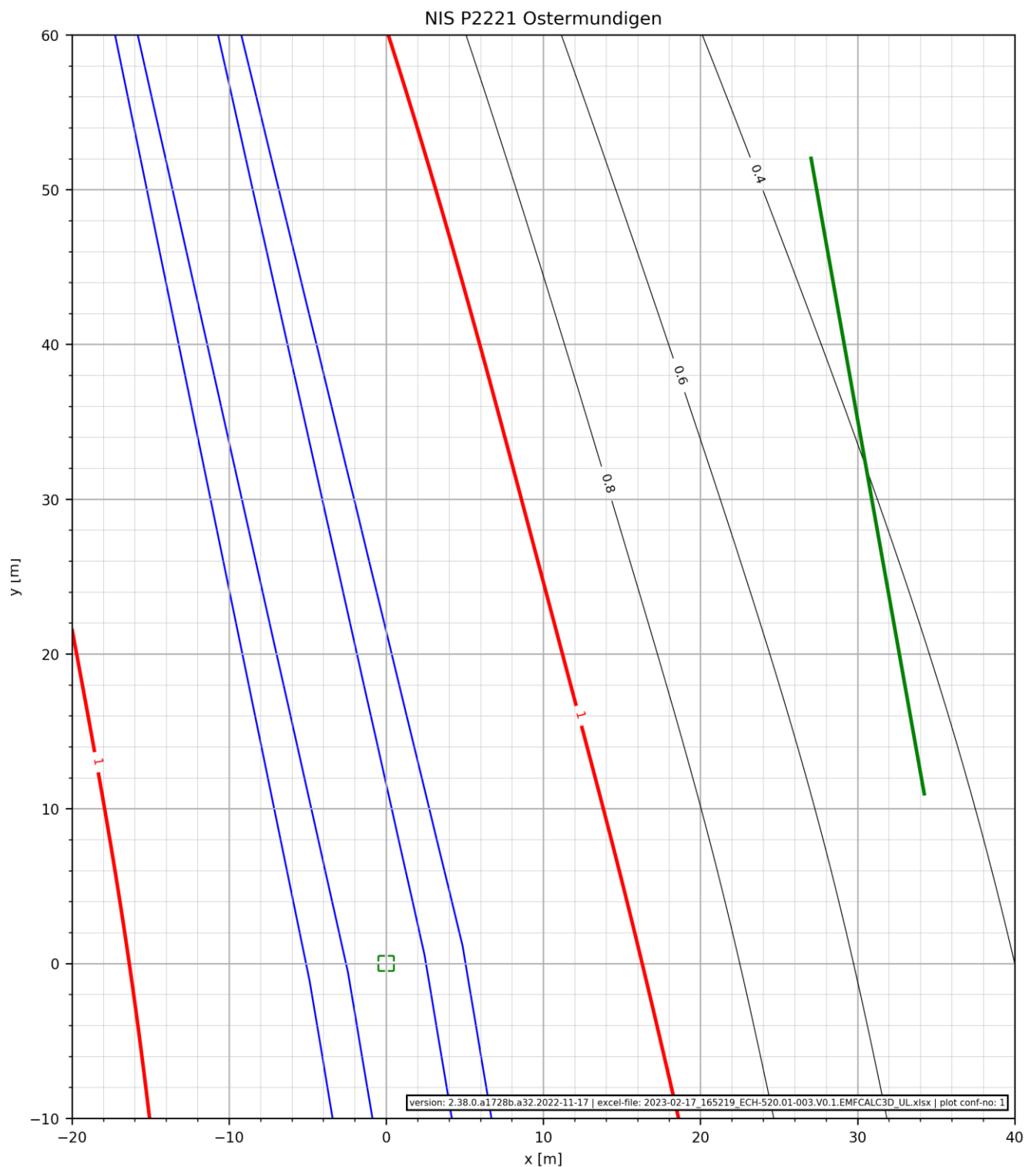


Abbildung 4-1: Von der Übertragungsleitung verursachte magnetische Flussdichte [μT] in einer Schnittebene auf Höhe $z=0$ m (551.5 m.ü.M.; d.h. ca. Terrainhöhe der Parzelle 2221)

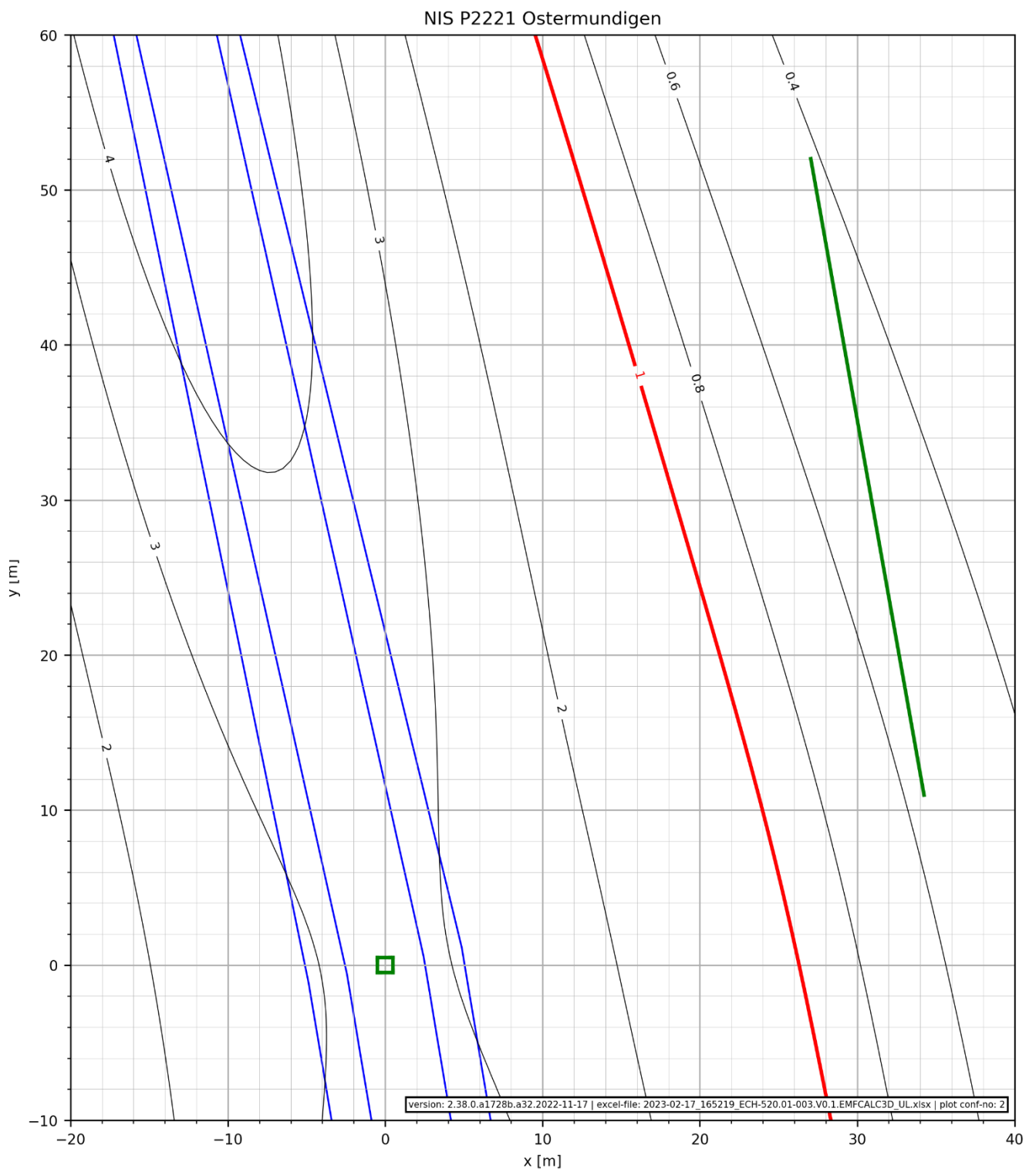


Abbildung 4-2: Von der Übertragungsleitung verursachte magnetische Flussdichte [µT] in einer Schnittebene auf Höhe z=10 m (561.5 m.ü.M.)

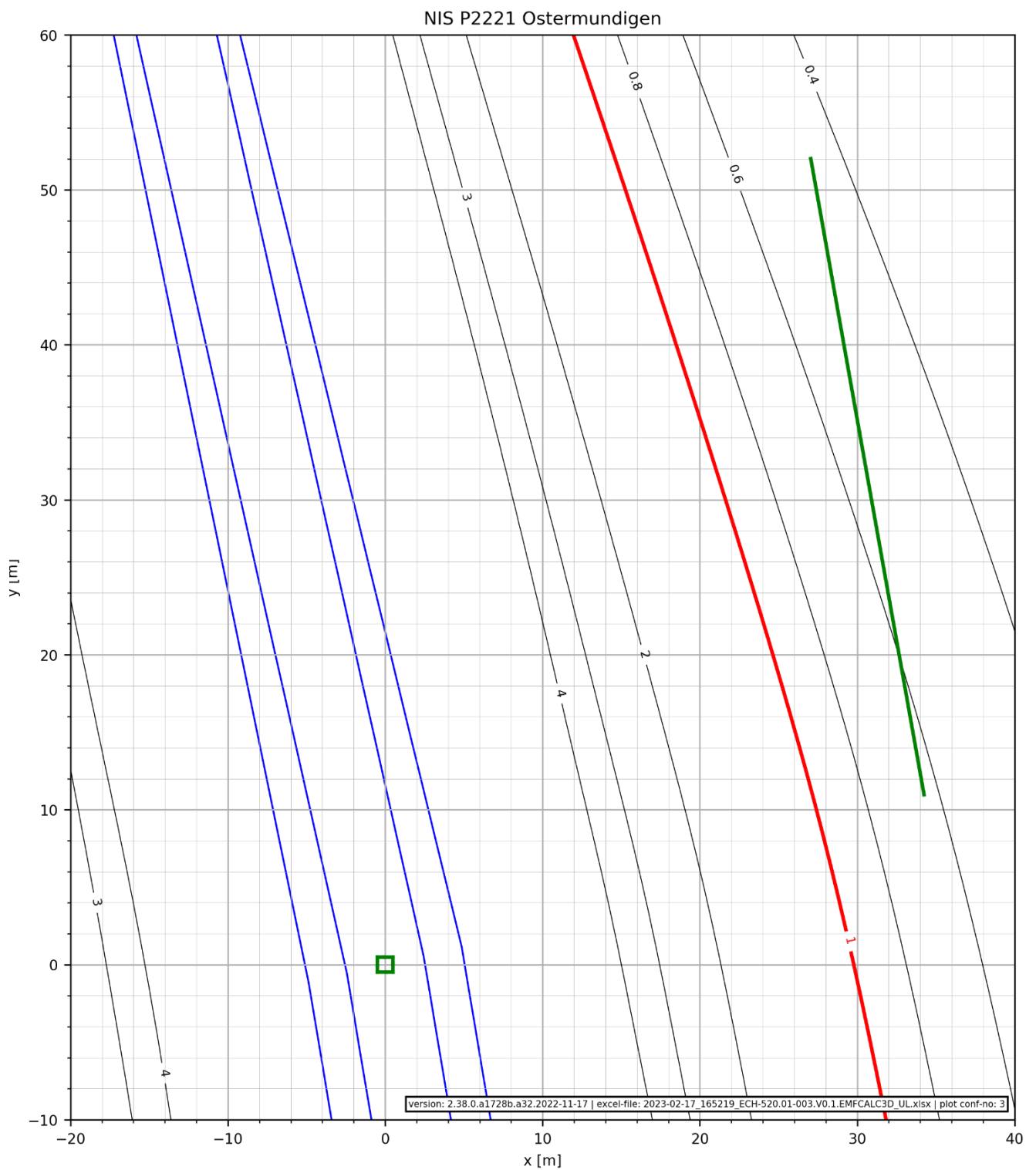


Abbildung 4-3: Von der Übertragungsleitung verursachte magnetische Flussdichte [μT] in einer Schnittebene auf Höhe $z=20\text{ m}$ (571.5 m.ü.M.)

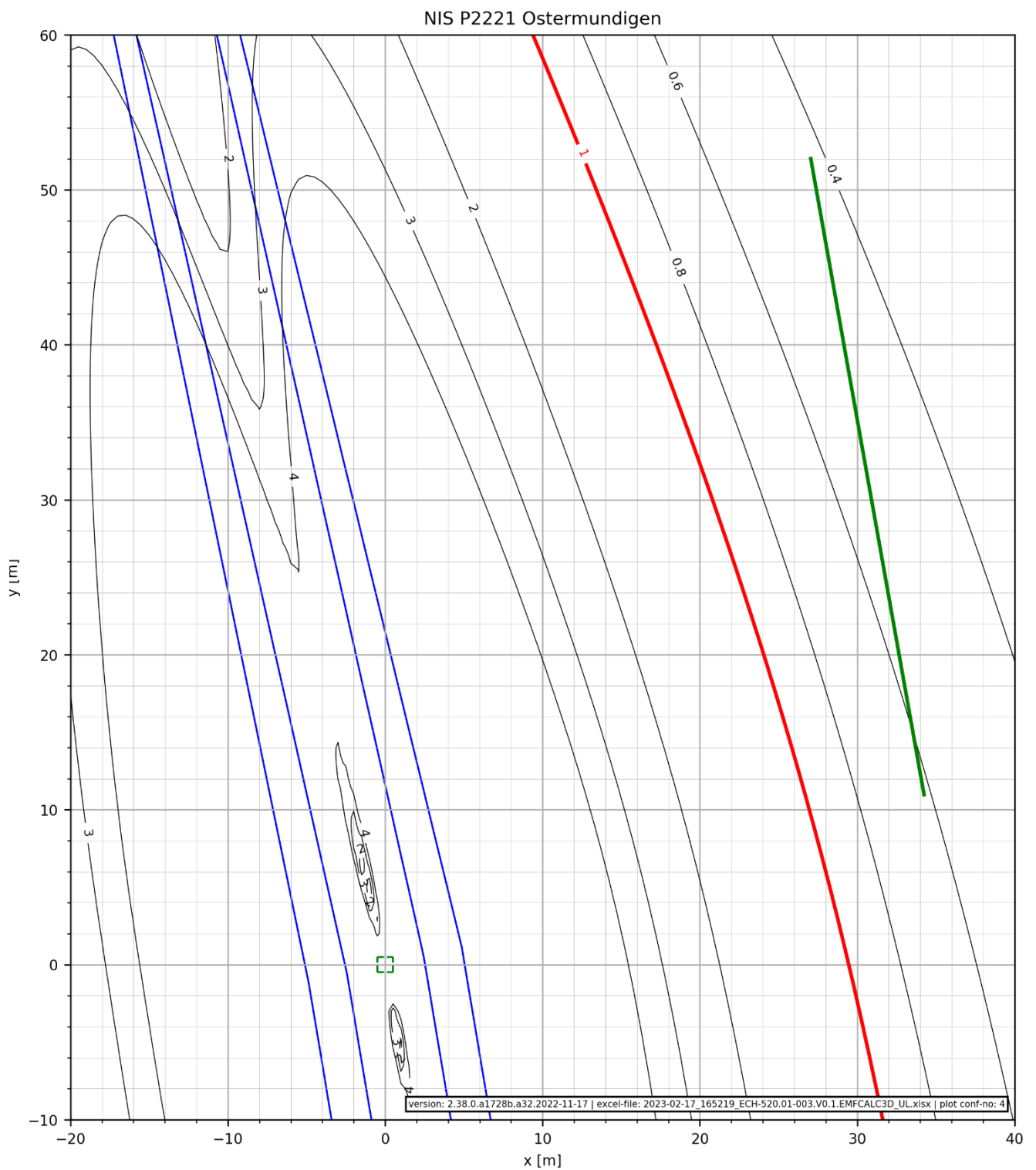


Abbildung 4-4: Von der Übertragungsleitung verursachte magnetische Flussdichte [μT] in einer Schnitt Ebene auf Höhe $z=30\text{ m}$ (581.5 m.ü.M.)

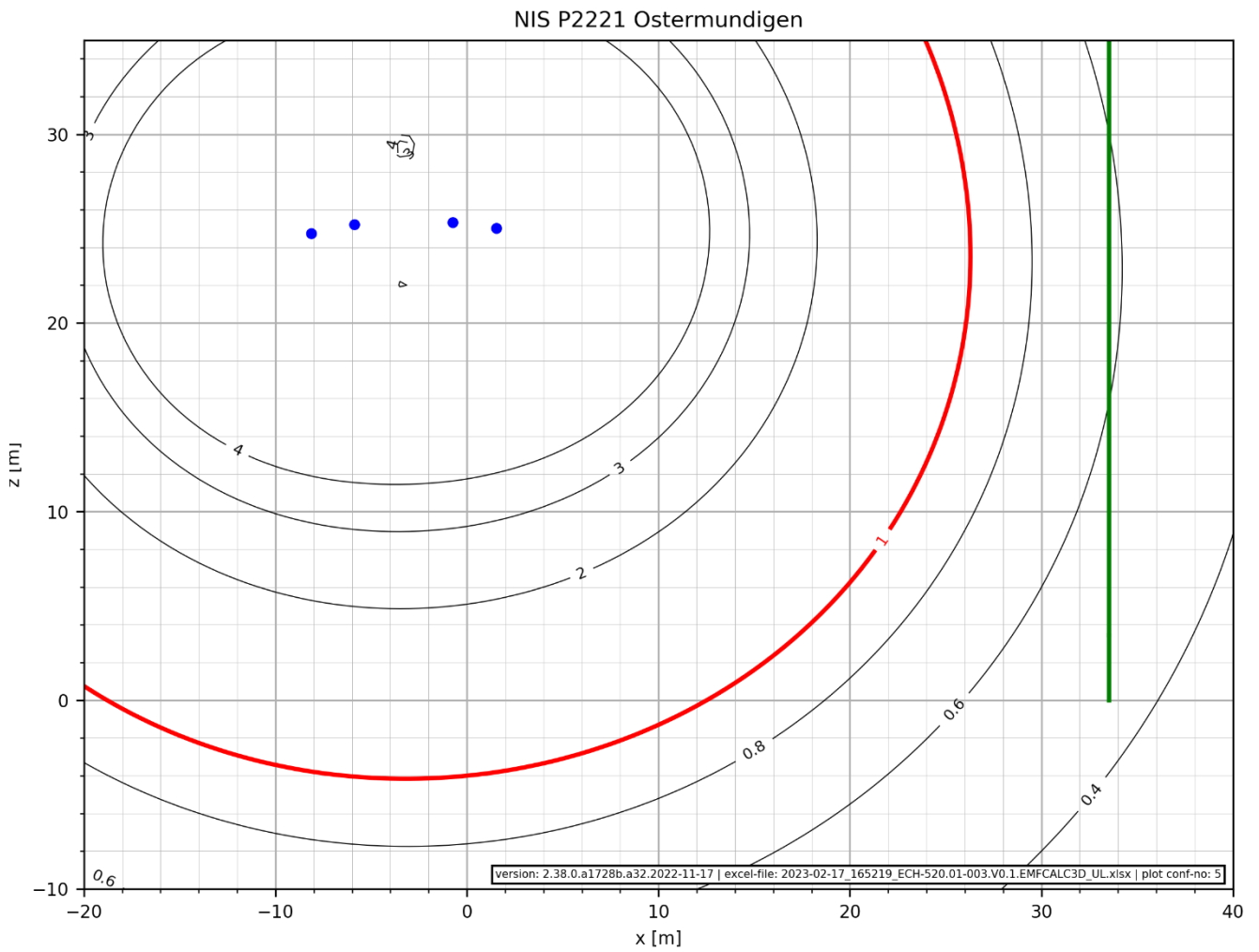


Abbildung 4-5: Von der Übertragungsleitung verursachte magnetische Flussdichte [μT] in einer vertikalen Schnittebene West-Ost bei $y=-15\text{ m}$ (ca. am südlichen Ende der Grenze der Parzelle 2221). Blickrichtung Norden.

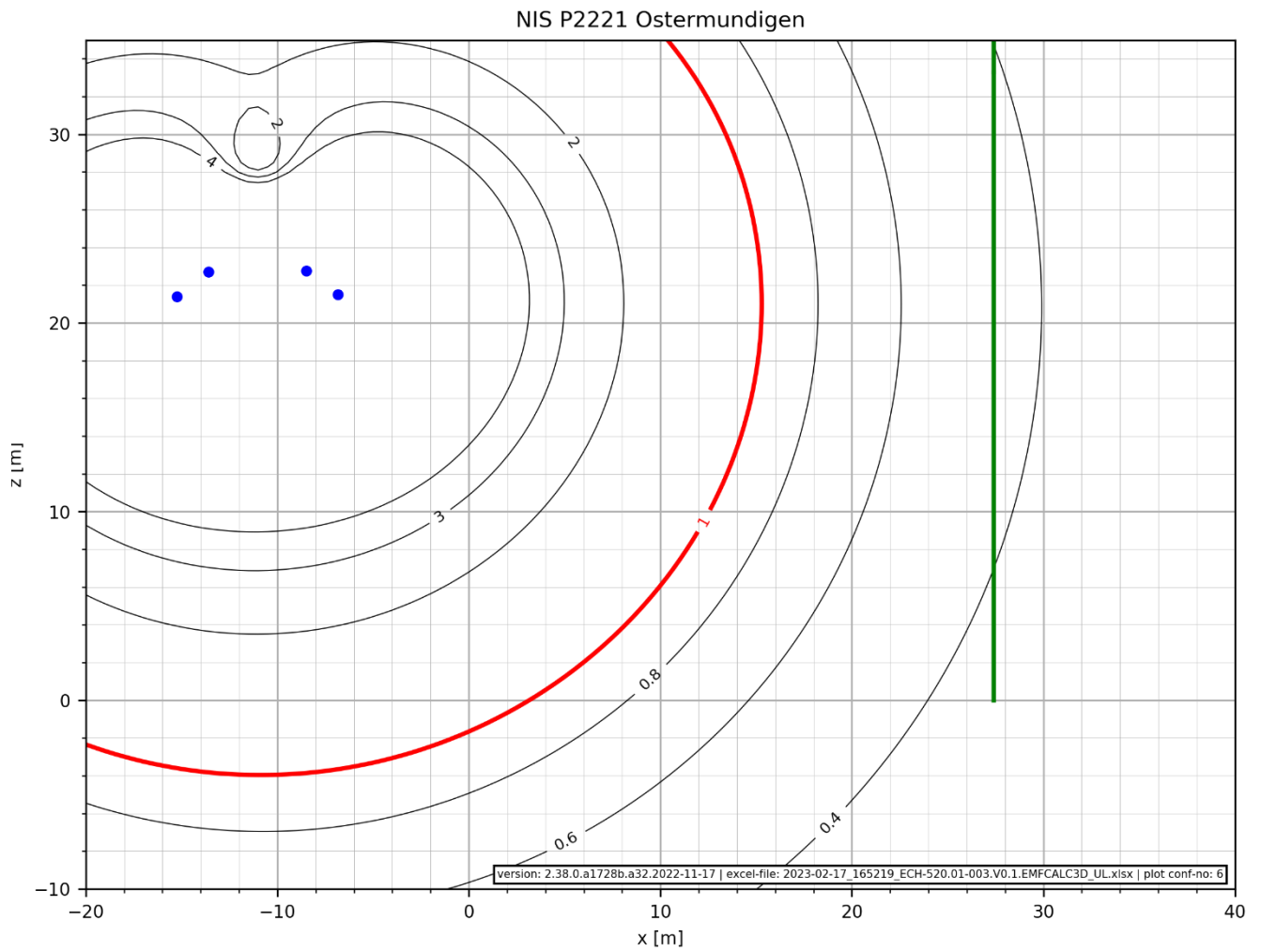


Abbildung 4-6: Von der Übertragungsleitung verursachte magnetische Flussdichte [μT] in einer vertikalen Schnittebene West-Ost bei $y=-50\text{ m}$ (ca. am nördlichen Ende der Grenze der Parzelle 2221). Blickrichtung Norden.

4.1.2 Lage der Übertragungsleitung mit «AS25»

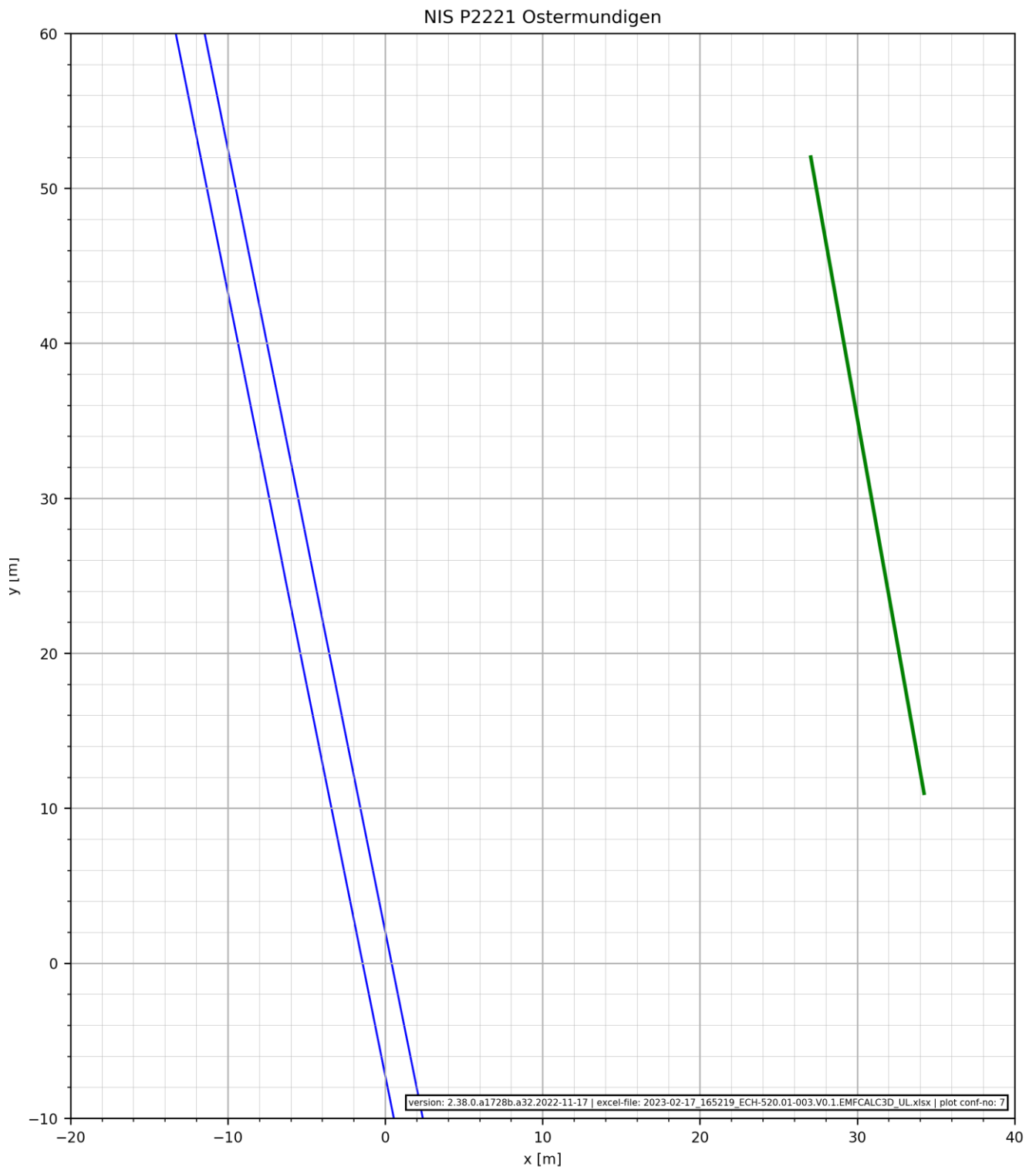


Abbildung 4-7: Von der Übertragungsleitung verursachte magnetische Flussdichte [μT] in einer Schnittebene auf Höhe $z=0$ m (551.5 m.ü.M.; d.h. ca. Terrainhöhe der Parzelle 2221). In dieser Schnittebene liegt die magnetische Flussdichte überall unter $0.4 \mu\text{T}$, deshalb zeigt die Abbildung auch keine Isolinien.

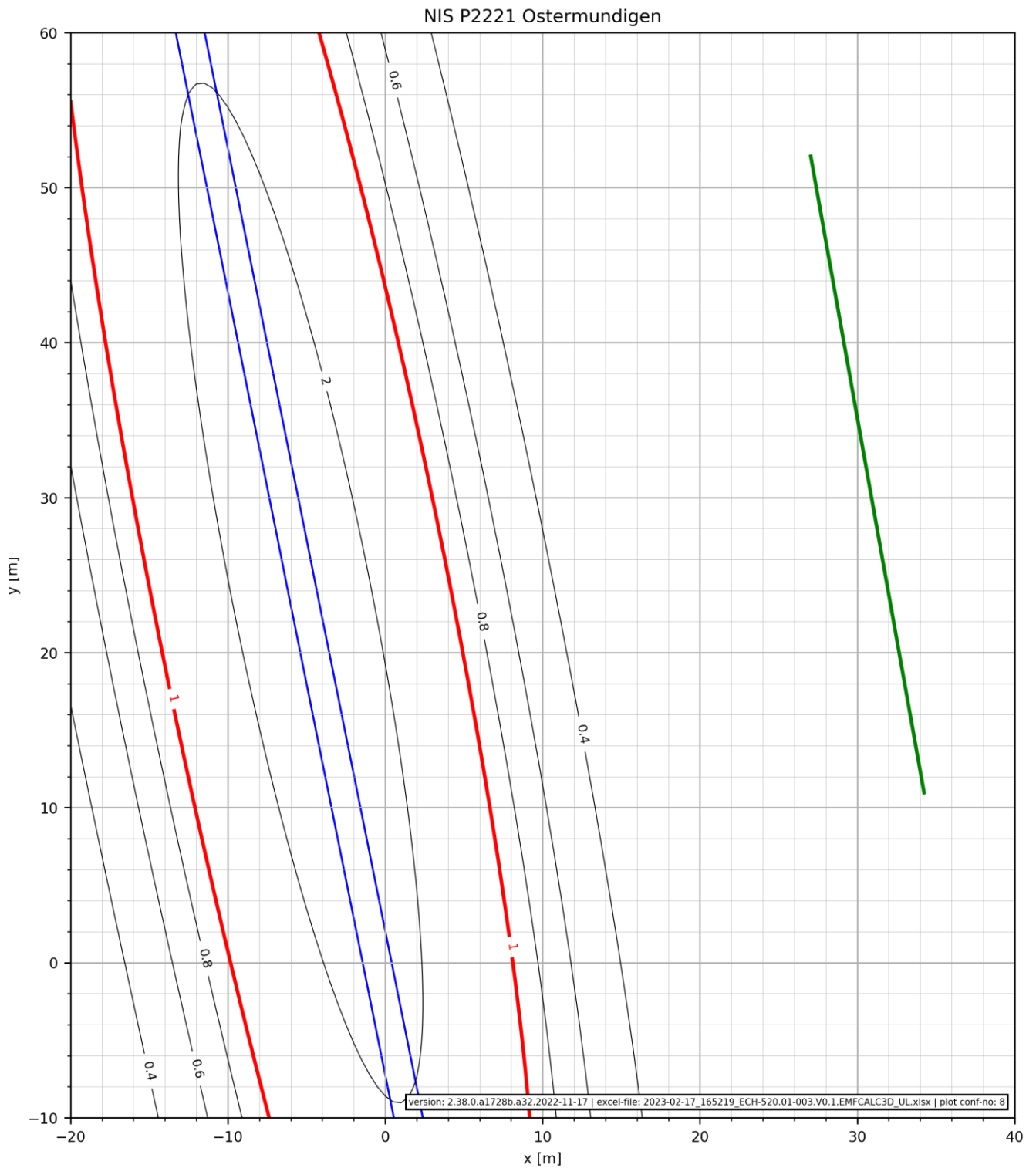


Abbildung 4-8: Von der Übertragungsleitung verursachte magnetische Flussdichte [μT] in einer Schnittebene auf Höhe $z=10\text{ m}$ (561.5 m.ü.M.)

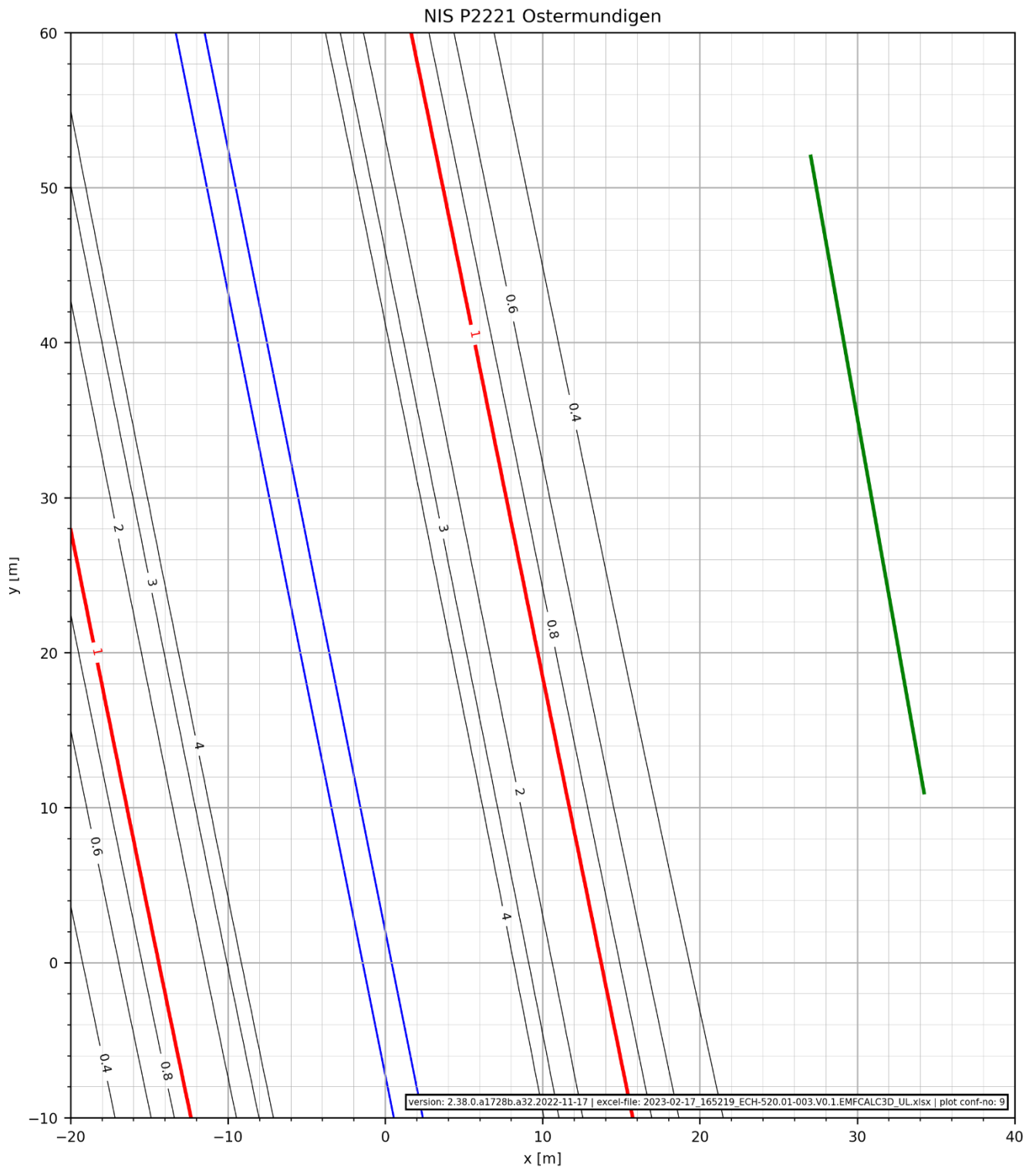


Abbildung 4-9: Von der Übertragungsleitung verursachte magnetische Flussdichte [μT] in einer Schnittebene auf Höhe $z=20\text{ m}$ (571.5 m.ü.M.)

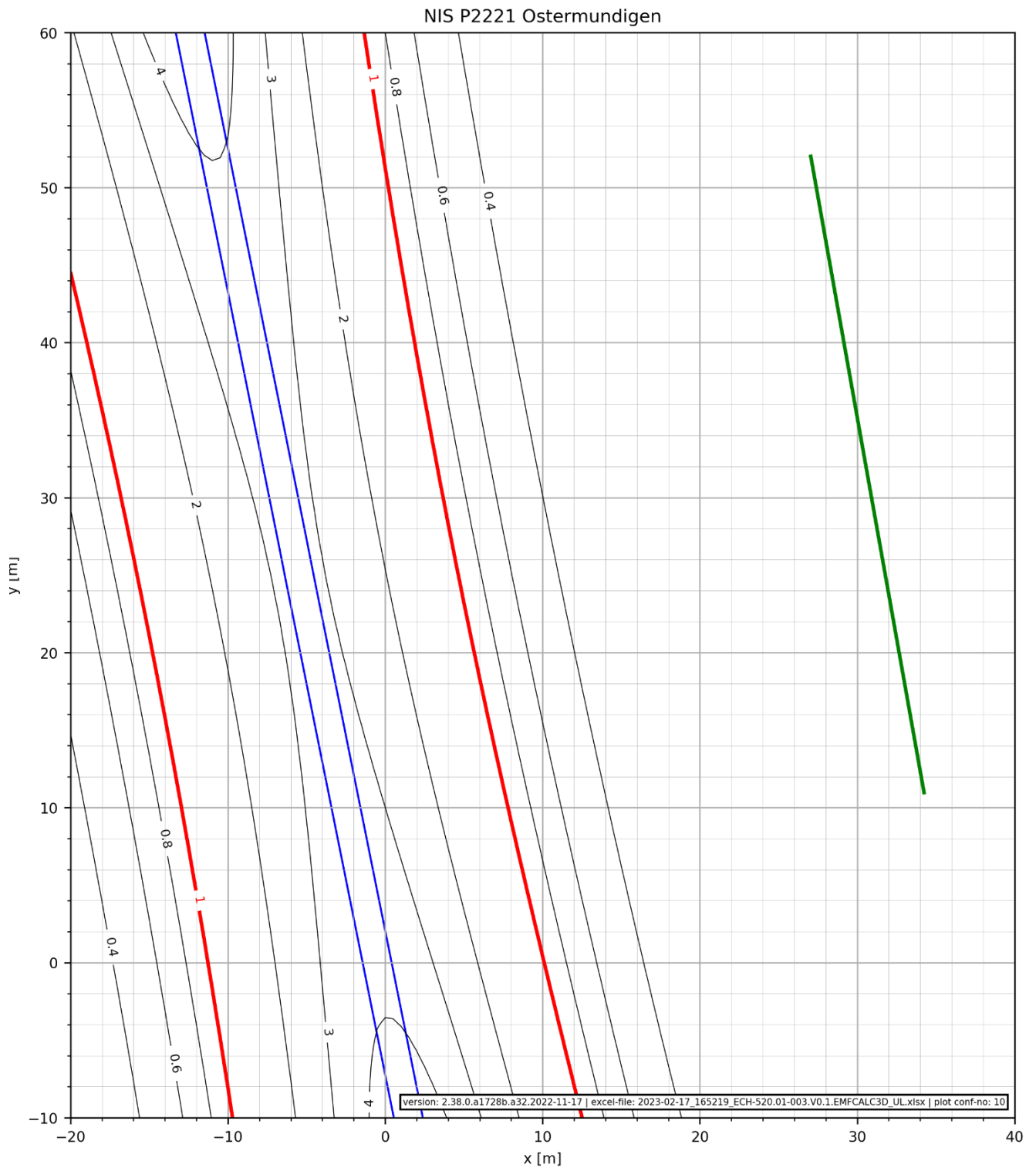


Abbildung 4-10: Von der Übertragungsleitung verursachte magnetische Flussdichte [μT] in einer Schnittebene auf Höhe $z=30\text{ m}$ (581.5 m.ü.M.)

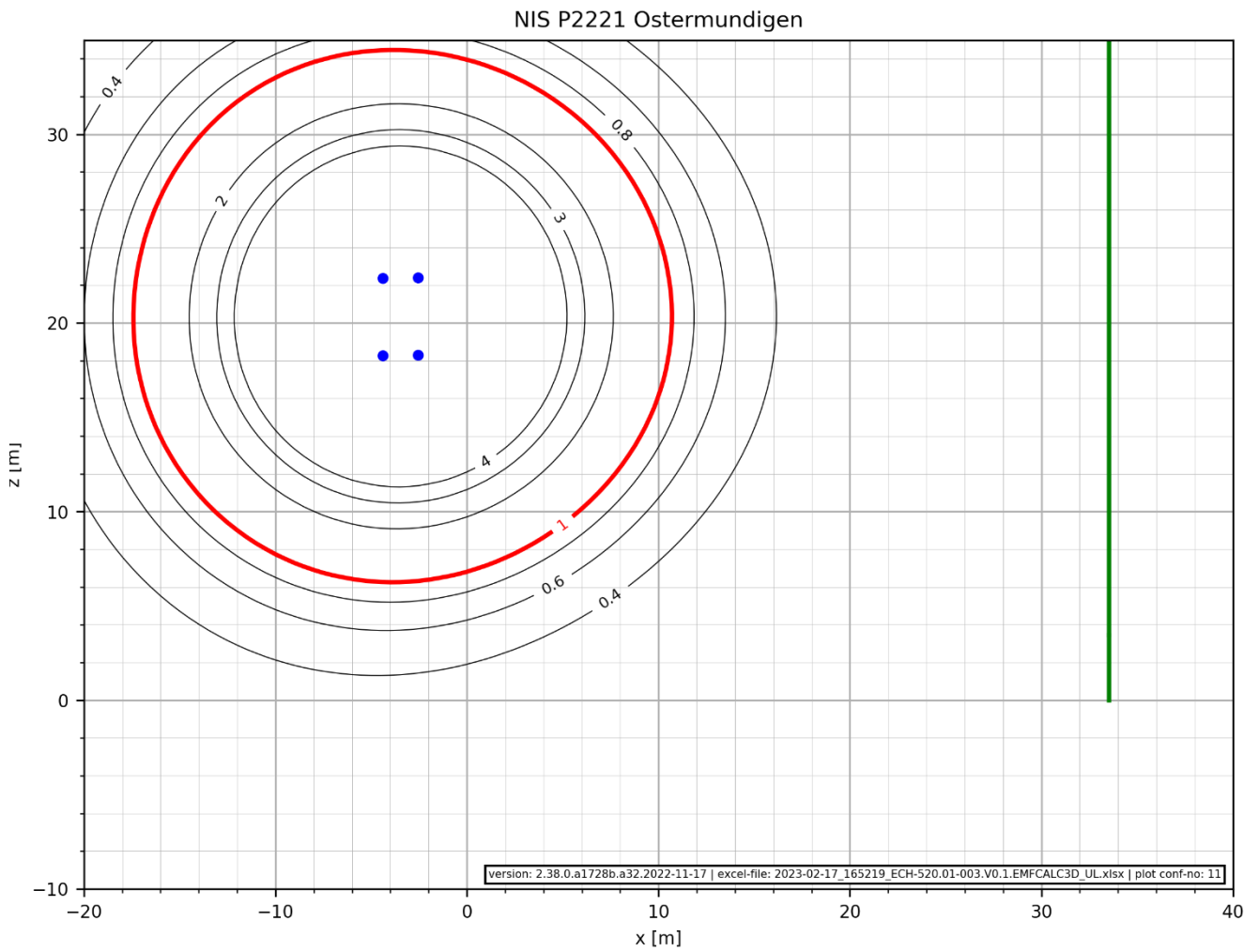


Abbildung 4-11: Von der Übertragungsleitung verursachte magnetische Flussdichte [μT] in einer vertikalen Schnittebene West-Ost bei $y=-15$ m (ca. am südlichen Ende der Grenze der Parzelle 2221). Blickrichtung Norden.

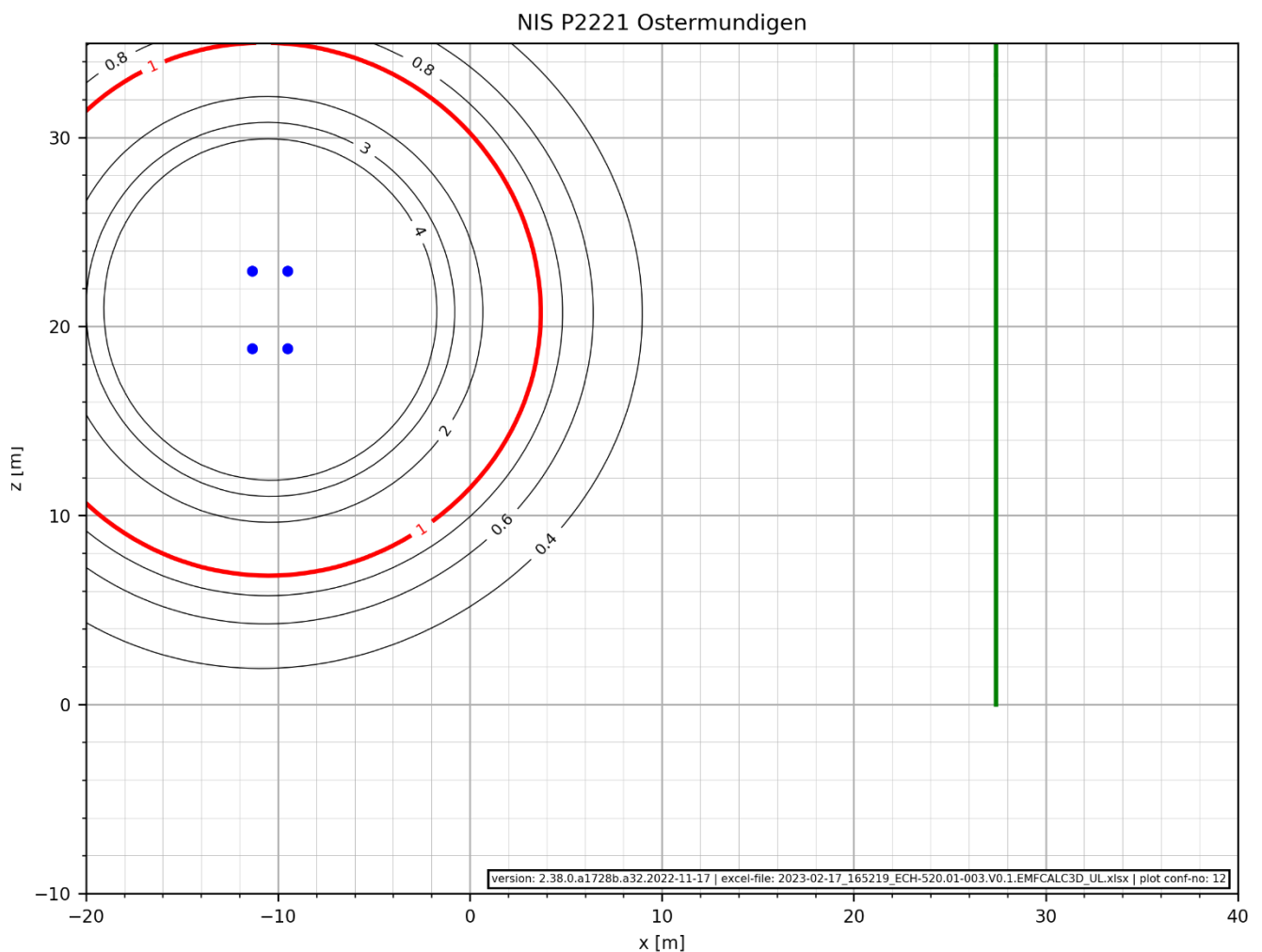


Abbildung 4-12: Von der Übertragungsleitung verursachte magnetische Flussdichte [μT] in einer vertikalen Schnittebene West-Ost bei $y=-50\text{ m}$ (ca. am nördlichen Ende der Grenze der Parzelle 2221). Blickrichtung Norden.

4.1.3 Zusammenfassung Ergebnisse Übertragungsleitung

Für beide Anlagenzustände (heutige Anlage und «AS25») wird der AGW von $1\ \mu\text{T}$ auf der ganzen Parzelle 2221 und unabhängig der künftigen Gebäudehöhe nicht erreicht. Im heutigen Zustand der Übertragungsleitung wird an der Parzellengrenze ein Maximalwert von $0.64\ \mu\text{T}$ (bei $x=34.2\text{ m}$, $y=11.0\text{ m}$, $z=23.0\text{ m}$) erreicht. Mit «AS25» liegt die NIS-Belastung aufgrund der kompakteren Leitungsführung und der für gleichsinnige Lastflussrichtung optimierten Phasenordnung bei der Parzelle 2221 noch deutlich tiefer: Der Maximalwert an der Parzellengrenze erreicht noch $0.08\ \mu\text{T}$ (bei $x=34.2\text{ m}$, $y=11.0\text{ m}$, $z=21.0\text{ m}$).

4.2 Feld der Eisenbahnanlage

Die nachfolgenden Isolinienplots zeigen die von der Eisenbahnanlage verursachte magnetische Flussdichte unter den Bedingungen der NISV für die Emissionen für die verschiedenen Ausbauszenarien.

- In den Abbildungen ist die bahnseitige Parzellengrenze (respektive deren lineare Verlängerung bei Querprofilen ausserhalb des Parzellenbereichs) mit einer vertikalen grünen Linie dargestellt. Das untere Ende dieser Linie liegt ca. auf Terrainhöhe der Parzelle 2221 (ca. 551.5 m)
- Die Leiterlage ist mit blauen Punkten beim Durchstossen der dargestellten Ebene dargestellt. Dabei ist für Leiter mit Durchhang (Tragseile, Speiseleitungen, Umgehungsleitungen, Rückleiterseile) der mittlere Durchhang berücksichtigt.
- Die Isolinien der magnetischen Flussdichte sind schwarz, wobei der AGW von 1 μT rot hervorgehoben ist.
- Die Parzelle 2221 liegt jeweils links der vertikalen grünen Linie.
- Koordinaten gemäss Kapitel 3.2.2. Die Schnittebenen der Isolinienplots liegen jeweils senkrecht zum Referenzgleis beim angegebenen Streckenkilometer der Bahn.

Zusätzlich zu den Isolinienplots ist jeweils in einem Situationsplan auch die maximale horizontale Ausdehnung magnetischer Flussdichten über dem AGW dargestellt.

4.2.1 Ausbaustufe Vorbereitung AS25

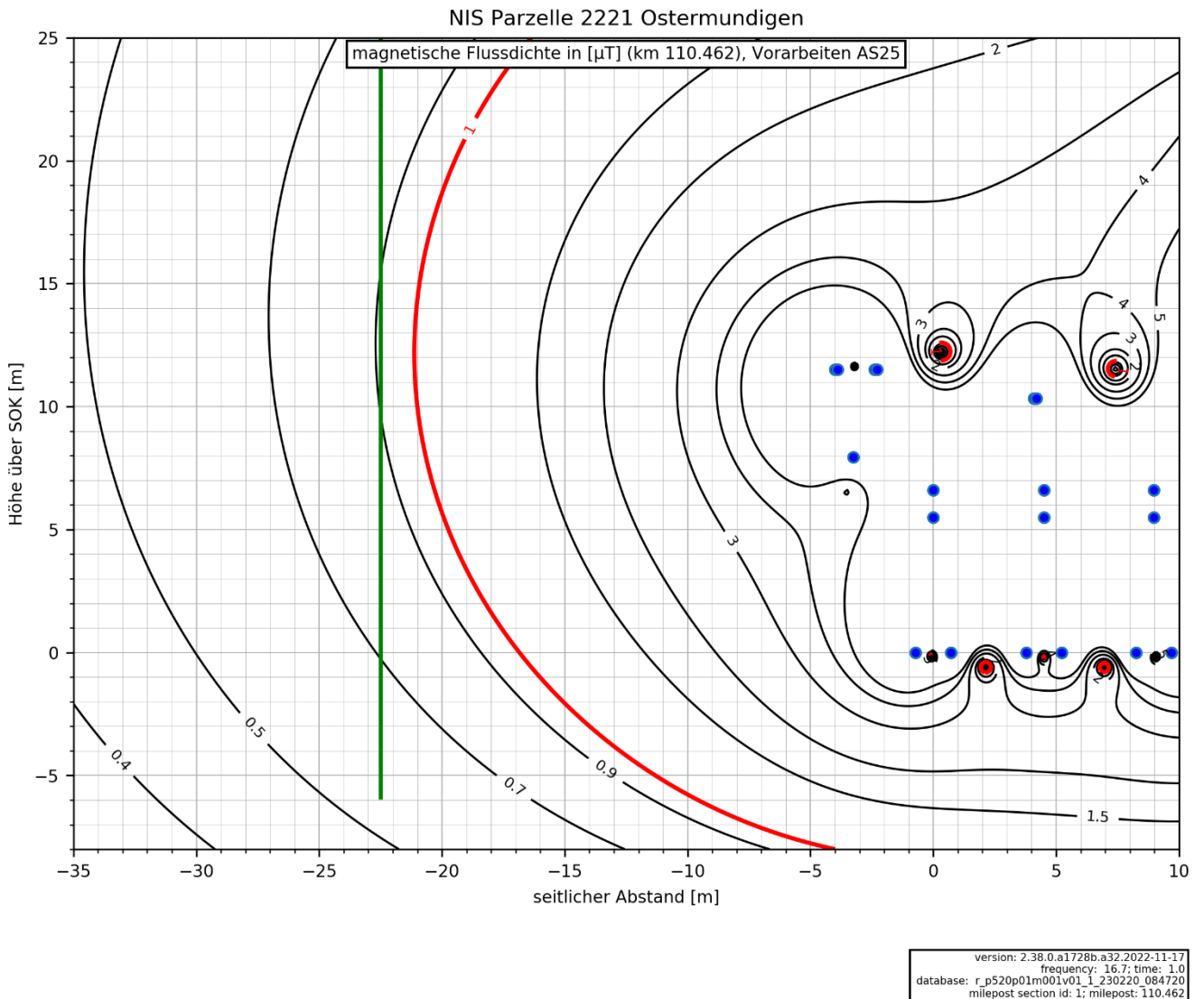


Abbildung 4-13: Von der Eisenbahnanlage mit Ausbaustand Vorbereitung AS25 verursachte magnetische Flussdichte [μT] in einer vertikalen Schnittebene bei $z=110.462$ km (Mastpaar 13/14; siehe auch Abbildung 4-15). Blickrichtung Gümligen entlang dem Referenzgleis. Die grüne vertikale Linie stellt in diesem Querprofil ausserhalb der Parzelle 2221 die Verlängerung der tatsächlichen Parzellengrenze dar.

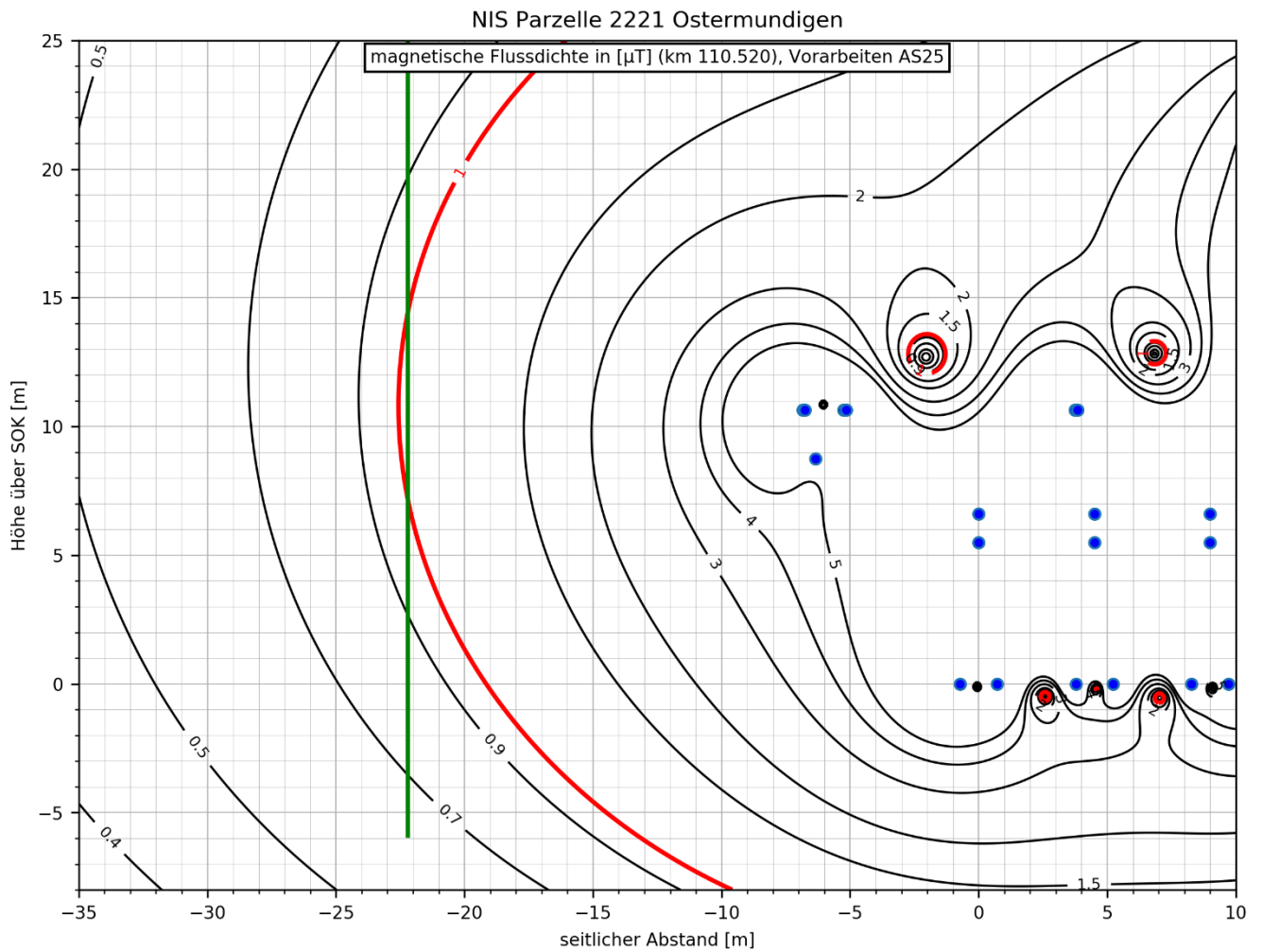


Abbildung 4-14: Von der Eisenbahnanlage mit Ausbaustand Vorbereitung AS25 verursachte magnetische Flussdichte [μT] in einer vertikalen Schnittebene bei $z=110.520$ km (Mastpaar 15/16; siehe auch Abbildung 4-15). Blickrichtung Gümligen entlang dem Referenzgleis. Die grüne vertikale Linie stellt in diesem Querprofil ausserhalb der Parzelle 2221 die Verlängerung der tatsächlichen Parzellengrenze dar.

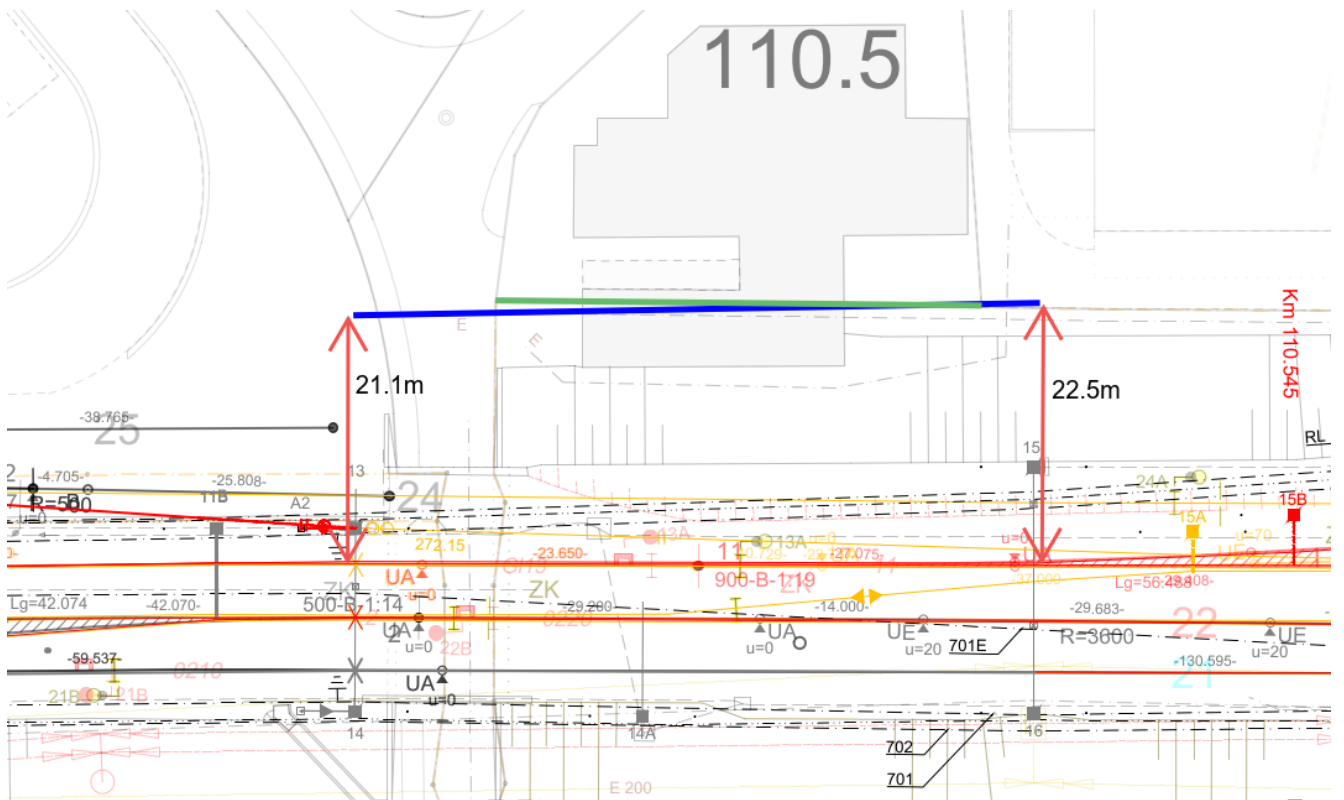


Abbildung 4-15: Blaue Linie: Maximale horizontale Ausdehnung magnetischer Flussdichten über dem AGW von 1 μ T. Grüne Linie: Grenze der Parzelle 2221 zur Bahn. Die angegebenen Distanzen beziehen sich auf das Referenzgleis (heutiges Gleis 3). Planquelle: [9], ergänzt.

4.2.2 Ausbaustufe AS25

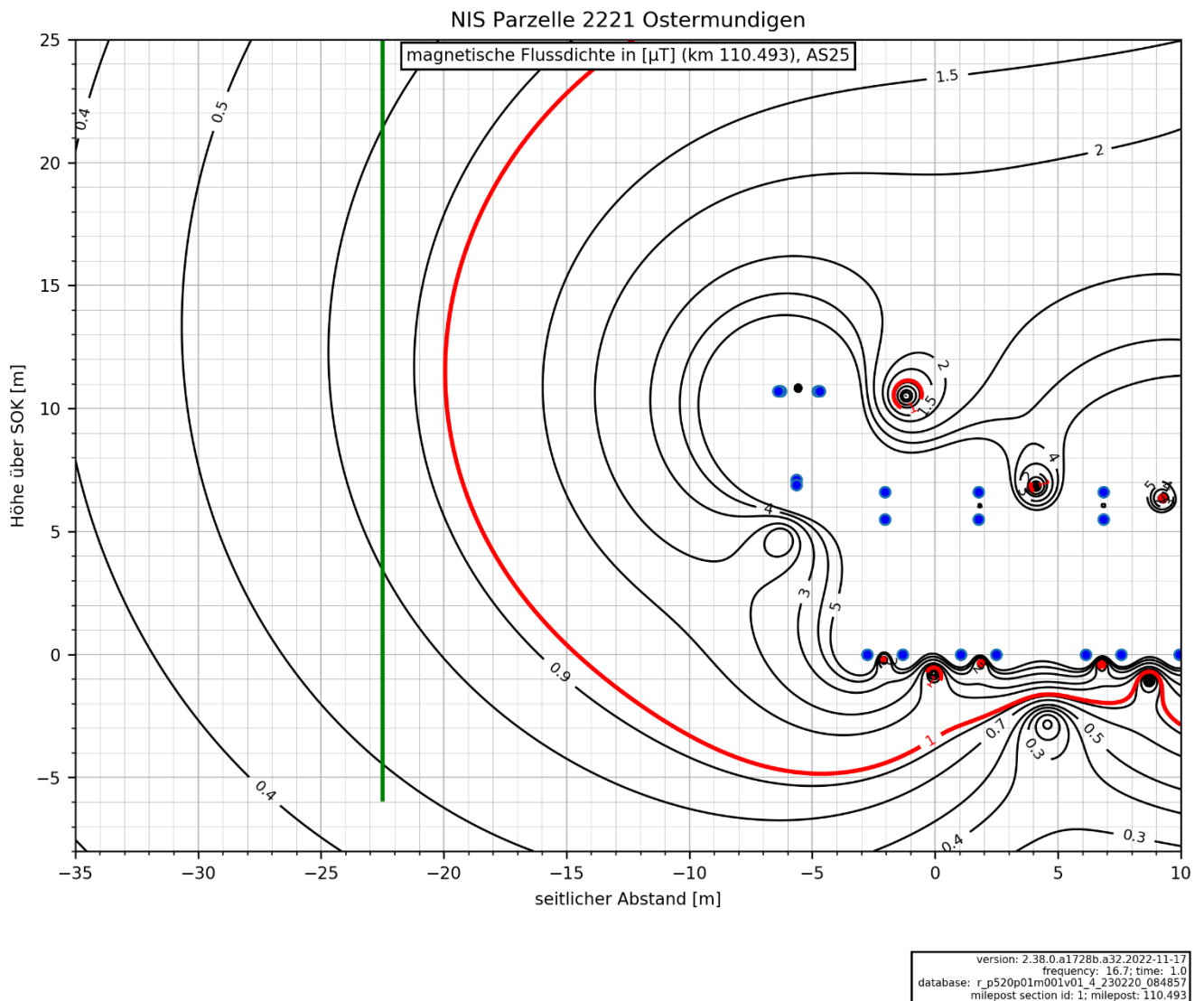


Abbildung 4-16: Von der Eisenbahnanlage mit Ausbaustand AS25 verursachte magnetische Flussdichte [μT] in einer vertikalen Schnittebene bei $z=110.493$ km (neues Mastpaar 19/20; siehe auch Abbildung 4-18). Blickrichtung Gümligen entlang dem Referenzgleis.

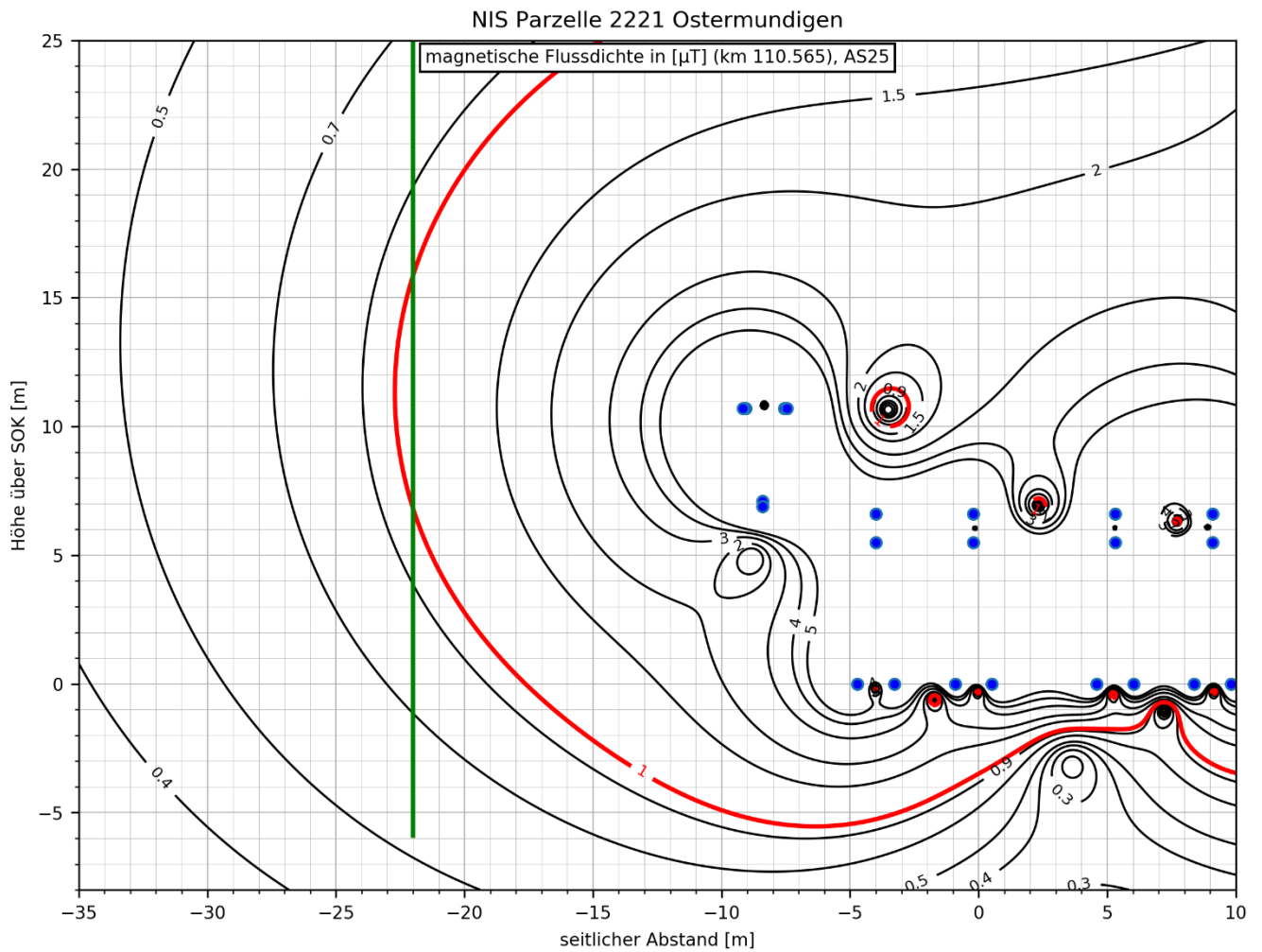


Abbildung 4-17: Von der Eisenbahnanlage mit Ausbaustand AS25 verursachte magnetische Flussdichte μT in einer vertikalen Schnittebene bei $z=110.565$ km (Mastpaar 25/27; siehe auch Abbildung 4-18). Blickrichtung Gümligen entlang dem Referenzgleis. Die grüne vertikale Linie stellt in diesem Querprofil die Verlängerung der tatsächlichen Parzellengrenze, ausserhalb der Parzelle 2221 dar.

4.2.3 Zeithorizont 2050

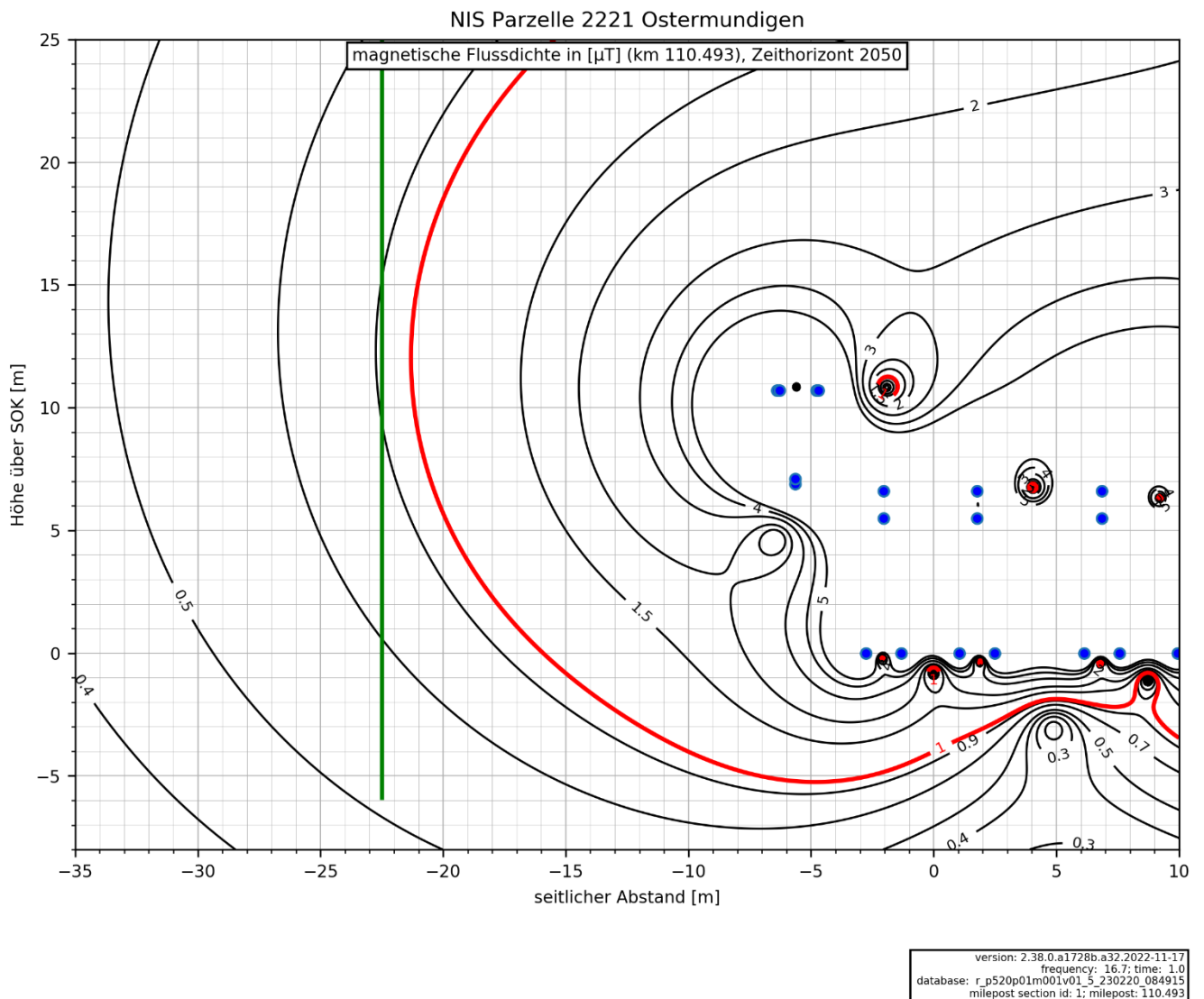


Abbildung 4-19: Von der Eisenbahnanlage zum Zeithorizont 2050 verursachte magnetische Flussdichte μT in einer vertikalen Schnittebene bei $z=110.493$ km (neues Mastpaar 19/20; siehe auch Abbildung 4-21). Blickrichtung Gümligen entlang dem Referenzgleis.

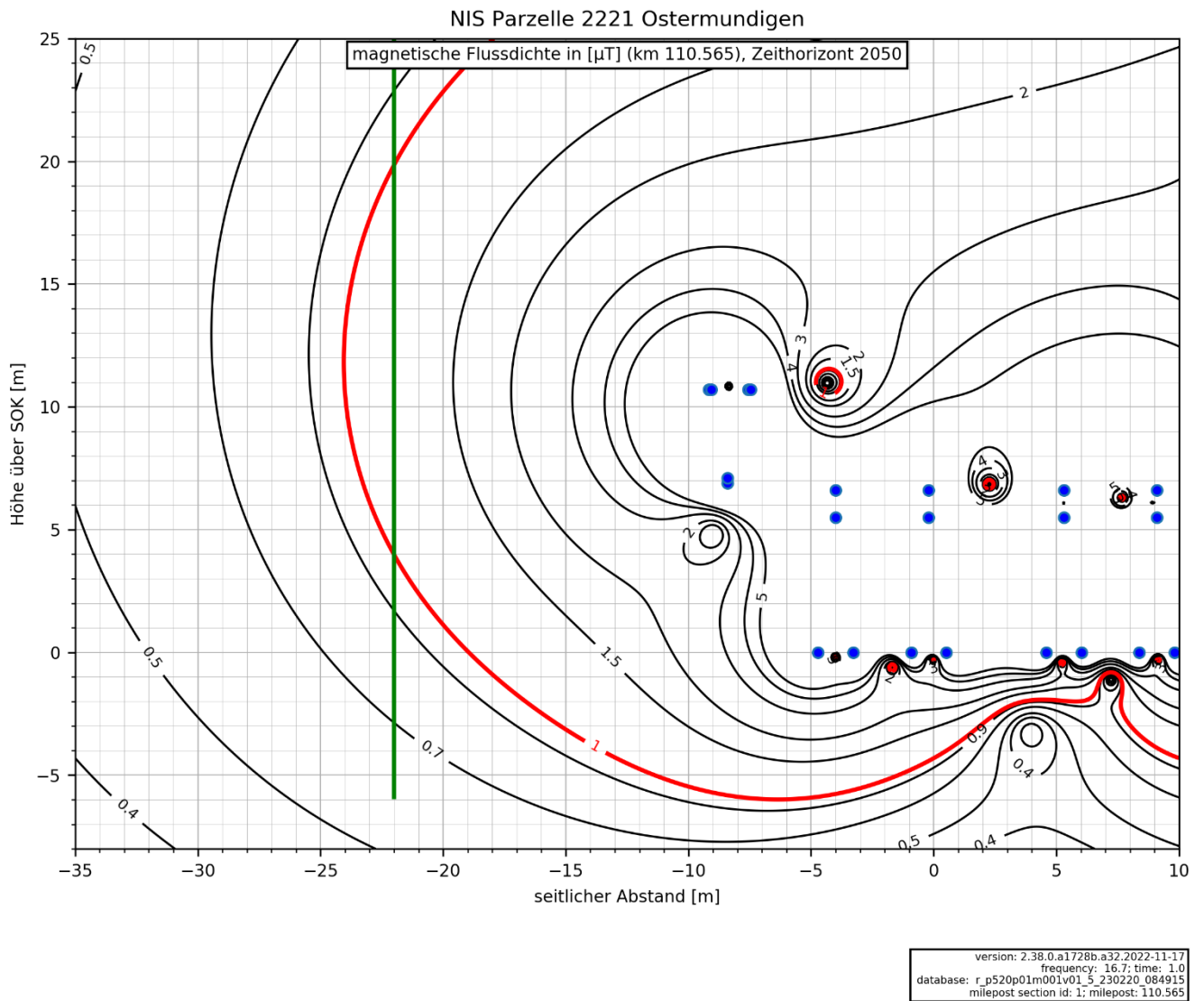


Abbildung 4-20: Von der Eisenbahnanlage zum Zeithorizont 2050 verursachte magnetische Flussdichte [μT] in einer vertikalen Schnittebene bei $z=110.565$ km (Mastpaar 25/27; siehe auch Abbildung 4-21). Blickrichtung Gümligen entlang dem Referenzgleis. Die grüne vertikale Linie stellt in diesem Querprofil ausserhalb der Parzelle 2221 die Verlängerung der tatsächlichen Parzellengrenze dar.

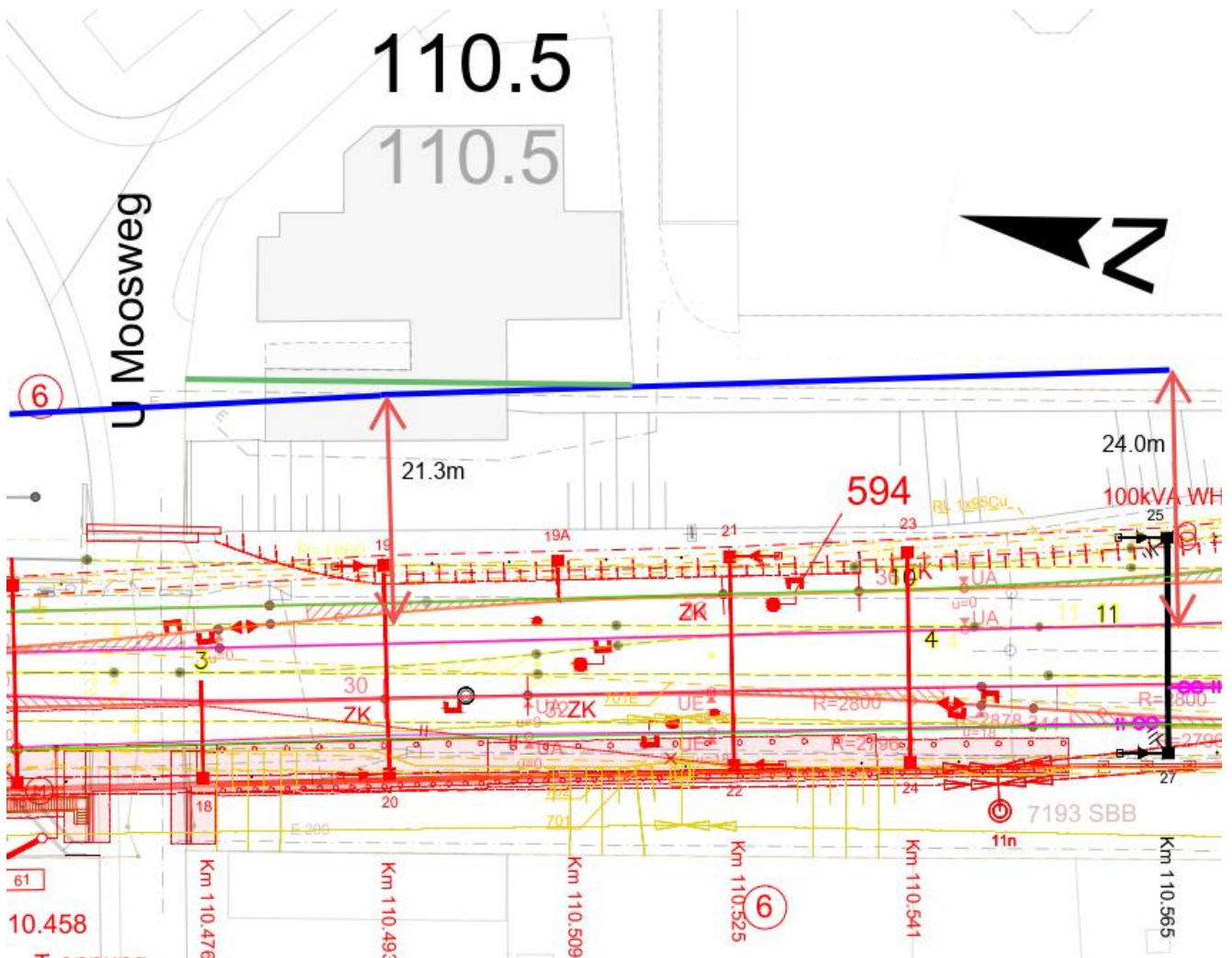


Abbildung 4-21: Blaue Linie: Maximale horizontale Ausdehnung magnetischer Flussdichten über dem AGW von 1 μ T. Grüne Linie: Grenze der Parzelle 2221 zur Bahn. Die angegebenen Distanzen beziehen sich auf das Referenzgleis (heutiges Gleis 3). Planquelle:[11], ergänzt.

4.2.4 Zusammenfassung Ergebnisse Eisenbahn

Im Ausbaustand Vorbereitung AS25 und im Szenario Zeithorizont 2050 erreicht die von der Eisenbahn verursachte maximale NIS-Belastung an der südlichen Parzellengrenze und in einer Höhe von ca. 11-12 m über Schienenoberkante gerade den Anlagegrenzwert von 1 μ T. Dementsprechend wird - auch wenn bis zur Parzellengrenze gebaut wird - bei allen möglichen OMEN innerhalb des Gebäudes der Emissionsgrenzwert der NISV nicht überschritten.

Üblicherweise führt der Wechsel vom Speisekonzept mit Umgehungsleitungen zum Linienkonzept zu einer deutlichen Reduktion der NIS-Belastung, da die Leiteranordnung kompakter ausfällt und damit die Feldkompensation der Hin- und Rückströme stärker ist. Im vorliegenden Fall ist dies jedoch nur schwach ausgeprägt, da die auf der Seite der Parzelle 2221 geführten Speiseleitungen zur Linie Gümligen - Luzern weiterhin bestehen bleiben und auch weiterhin am Rand der Bahnanlagen geführt werden.

5 REFERENZEN

- [1] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV, SR 814.710), 23. Dezember 1999 (Stand 1. Januar 2022)
- [2] UL 180 UW Bern Wylerfeld – UW Thun/Wimmis, Mastbilder Masten 10, 11, 12, 13, SBB, Stand Mastbilder 16.09.2013, 31.03.2014, 02.06.2014, 26.09.2013.
- [3] Längenprofil 132 kV UL Bern/Wylerfeld – Thun Mast 10-16, SBB, 180.05.50004.03, 23.02.1981
- [4] AS25 Entflechtung Wankdorf Süd – Ostermundigen, Auflageprojekt, Mastbilder, SBB/AFRY, AS25_ZD_0000_Titel, Index 0, 16.03.2022
- [5] AS25 Entflechtung Wankdorf Süd – Ostermundigen, Auflageprojekt, Längenprofil, SBB/AFRY, AS25_ZD_0000_Titel, Index 0, 16.03.2022
- [6] AS25 Entflechtung Wankdorf Süd – Ostermundigen, Auflageprojekt, Situation, SBB/AFRY, AS25_ZD_0000_Titel, Index 0, 16.03.2022
- [7] Geoinformation Bern-Mittelland, <https://geoportal-bern.ch/draw>, abgerufen am 17.02.2023.
- [8] Hochspannungsleitungen, Vollzugshilfe zur NISV, BAFU, Entwurf zur Erprobung vom Juni 2007
- [9] Bahnhof Ostermundigen (OST) Situation Fahrleitung Endzustand AS25 Vorarbeiten, SBB/Basler&Hofmann, BOST_33_PL_FS_0001_Sit_END, 30.08.2022
- [10] Querprofile der Fahrleitungsanlage, insbesondere Mastbilder Masten 13/14 (SBB, km 110.462, 1OSTE013, Stand 01, 21.12.2001) und 15/16 (SBB, km 110.520, 1OSTE015, Stand 01, 21.12.2001)
- [11] WKD – OST, Situationsplan Fahrleitung Endzustand, SBB/Basler&Hofmann, AS25_33_PL_FS_0005_Sit-END, 11.01.2023
- [12] Querprofile der Fahrleitungsanlage, insbesondere Mastbild Masten 19/20 (SBB/AVRY, km 110.493, 20230112_QP_AS25, 17.01.2023)
- [13] 24-h-Ströme, "NIS-Total, Stand MIV 36A, 2019-08-15.03.xlsx", von SBB am 20.05.2022 per Email erhalten
- [14] "20220103_Faktoren_24h-Strom4.pdf" mit Stand vom 03.01.2022, von SBB am 20.05.2022 per Email erhalten
- [15] Bahnhof Ostermundigen, Auflageprojekt, Schaltplan Fahrleitung Endzustand AS25 Vorarbeiten, SBB/Basler&Hofmann, BOST_33_PL_FS_0009_Schaltplan_END, 30.08.2022
- [16] WKD – OST, Schaltplan Fahrleitung Endzustand AS25, SBB, 25.02_AS25_33_PL_---_FS_0009_Schaltplan_END, 21.09.2022

6 ANHANG

6.1 Verwendete Abkürzungen und Begriffe

Begriff	Definition
AGW	Anlagegrenzwert gemäss Anhang 1 NISV; Grenzwert für die vorsorgliche Emissionsbegrenzung; für Eisenbahnanlagen und Übertragungsleitungen beträgt der Grenzwert 1 μ T (Mittelwert der magnetischen Flussdichte über 24 Stunden für Eisenbahnen und Feld bei Betrieb mit thermisch zulässigem Dauerstrom für Übertragungsleitungen)
Kettenwerk	Fahrdraht und Trageil, verbunden durch die Hänger
m.ü.M.	Meter über Meer
NIS	Nichtionisierende Strahlung
NISV	Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung [1]
OMEN	Ort mit empfindlicher Nutzung gemäss Art. 3, Abs. 3 NISV
SOK	Schienenoberkante
UL	Übertragungsleitungen; in der vorliegenden Studie die 132-kV-Leitung Nr. 180 der SBB, welche mit zwei Leitungssträngen das UW Bern Wylerfeld mit dem UW Wimmis (Leitungsstrang BE-WI) resp. dem UW Thun (Leitungsstrang BE-TH) verbindet.
UW	Unterwerk

Tabelle 6-1: Tabelle der verwendeten Abkürzungen und Begriffe